

Escuela Politécnica Superior

Universidad de Sevilla



TRABAJO DE FIN DE GRADO

**DISEÑO DE LA PARCELA PILOTO TAR DEL BOSQUE DE LA SALUD DE LA
BALSA DE FOSFOYESOS DE HUELVA**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial

Autora

María Márquez Carpio

Tutores:

Julián Lebrato Martínez

Clara Lebrato Vázquez

Sevilla 2022

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HIPÓTESIS	4
1- Hipótesis 1. Generación de suelo sobre la capa de fosfoyesos	4
2- Hipótesis 2. Garantía química en el suelo naturalizado.....	4
3- Hipótesis 3. Garantía biológica en la atmósfera cercana al suelo	5
3. OBJETIVOS	6
4. MATERIALES.....	7
Parcela piloto	7
Corrección del suelo	7
1- Corrección del pH.....	7
2- Compostaje.....	7
Sensores.....	9
1- Sensor de humedad.....	9
2- pH metro.....	9
3- Potencial redox	10
4- La conductividad.....	10
Plantas, árboles y arbustos.....	11
5. MÉTODOS	12
6. DISCUSIÓN Y RESULTADOS	16
7. DISEÑO DEL CONTROL DEL PROCESO PARA LA GARANTIA QUÍMICA.	18
1- Control automático.....	18
2- Control biológico	21
8. CONCLUSIONES.....	22
9. BIBLIOGRAFÍA.....	23
10. ANEXOS.....	26
1- Ficha técnica de fosfoyesos.....	26
2- Información sobre la absorción de SOx y NOx por plantas	26
3- Determinaciones.....	26
4- El mayor caso de contaminación industrial de Europa	26
5- Plantas autóctonas acidófilas.....	26

1. INTRODUCCIÓN

El yeso fosfatado o sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) es el principal residuo generado por la industria de los fertilizantes fosfatados (Macías et al., 2017). Estos residuos son resultantes del proceso de fabricación de ácido fosfórico (H_3PO_4), donde se ataca el mineral (roca sedimentaria denominada “fosforita”) con ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 70%. Con el posterior filtrado se obtiene el ácido fosfórico por un lado y por otro lado un subproducto denominado “fosfoyeso” (*Fertiberia PDF1[7824]*, n.d.).

La reacción química simplificada sería (*FICHA TÉCNICA*, 2010):

Roca Fosfórica + Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) (70%) = Ácido Fosfórico (H_3PO_4) +
El Fosfoyeso es el residuo de esta fabricación

En las proximidades de la ciudad andaluza de Huelva (Fig.1), localizada en el SO de la Península Ibérica, durante más de cuatro décadas se asentó un gran complejo industrial con numerosas plantas químicas dedicadas a la producción de ácido fosfórico, entre las que se encontraba la empresa Fertiberia. Este complejo industrial llegó a ser el único productor a nivel nacional y el mayor a nivel europeo. Se llegaron a generar más de cien millones de toneladas de fosfoyesos depositados en balsas de decantación con ausencia de tratamiento. Esto supone un gran impacto medioambiental, social y paisajístico hacia las marismas anexas. Su construcción ha arrasado buena parte de las marismas del río Tinto, una zona de alto valor ecológico y biológico. En Huelva se generaba el 2% de la producción mundial de fosfoyesos (Romero García, 2009).

Estos residuos se llevan acumulando en balsas de decantación desde el año 1968, hasta que en el año 2010 una sentencia de la Audiencia Nacional, ratificada por el Tribunal Supremo condenó a la empresa Fertiberia S.A. a paralizar definitivamente los vertidos y proceder a la regeneración de los terrenos contaminados. La empresa cesó los vertidos de inmediato ya desde la primera sentencia, pero la regeneración está aún por acatar (*La Mayor Montaña Tóxica de Europa Asfixia a Huelva | Lamarea.Com*, n.d.)



Fig.1 Vista de la ciudad desde los fosfoyesos. (*El Alcalde Anuncia Una Pronta Resolución Sobre Los Fosfoyesos Tras Completar Fertiberia Su Plan – Diario de Huelva*, n.d.)

El plan de Fertiberia que recibe el nombre “Restore 20/30” consiste en un sellado superior (Fig.2) asegurando la estanqueidad mediante la instalación de dos capas: una primera barrera de geomembrana, complementada por una segunda capa de arcilla compactada, encapsulando los fosfoyesos y obviando la inestabilidad de las balsas (*Restore 20/30: Sellar Fosfoyesos Para Devolver a Huelva Su Entorno Natural*, n.d.). Además, el proyecto, el cual se acometerá entre los años 2020 y 2030 prevé la instalación de una capa adicional de tierra vegetal la cual se tiene intención de revegetar.

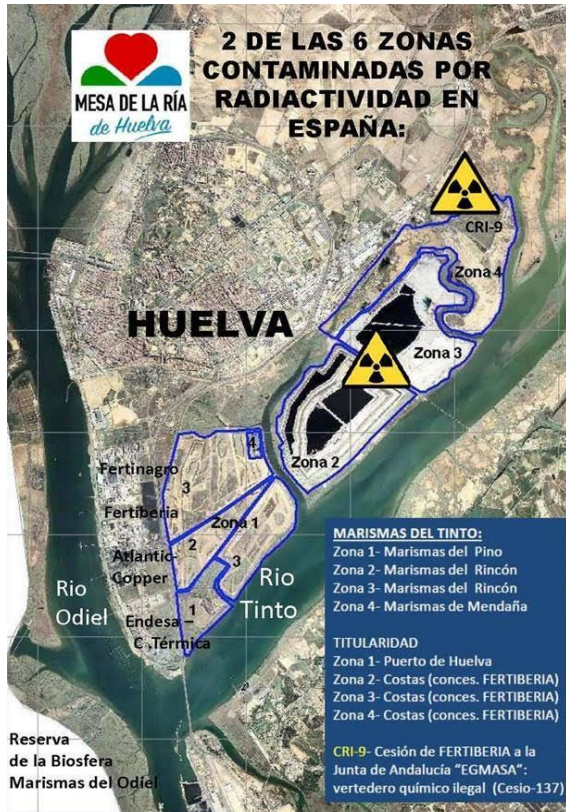


Fig.2 Las distintas zonas de los fosfoyesos. (*Fosfoyesos: El Ecocidio de Huelva*, n.d.)

Desde el punto de vista de la salud, y asociados a los acúmulos de fosfoyesos, las preocupaciones más enunciadas por el Comité de Expertos de la Universidad de Huelva son: el cáncer (mayor riesgo el de pulmón, laringe y vejiga) y enfermedades respiratorias (*Asociaciones y Partidos de Huelva Analizan Los Problemas Que Pueden Generar Las Balsas de Fosfoyesos*, n.d.). Todo este enunciado podría tener correlación con la información de que: “las tres provincias más occidentales de Andalucía (Huelva, Sevilla y Cádiz) registran los mayores promedios de fallecimientos por tumores malignos de toda España desde principios de siglo.” (Fig.3) (*El Triángulo Del Cáncer: Por Qué En Huelva, Cádiz y Sevilla Se Muere Más Que En El Resto de España*, n.d.)



Fig.3 Tasa de mortalidad por provincias. (*El Triángulo Del Cáncer: Por Qué En Huelva, Cádiz y Sevilla Se Muere Más Que En El Resto de España*, n.d.)

Los elementos radiactivos contenidos en los fosfoyesos (Fig.4) tales como el Uranio-238 o el Radio-226 (*Fertiberia PDF1[7824]*, n.d.) entre otros, que llegan a las balsas afectan directamente a la población de Huelva debido fundamentalmente a la dispersión de partículas por acción del viento o a la disolución de sales que terminan en la ría del Río Tinto y que pueden incorporarse a los distintos estamentos de la cadena trófica. Las radiaciones dentro del organismo tienen acción mutagénica y cancerígena y sus efectos en pequeñas dosis, sostenidas en el tiempo, son un factor más de riesgo de enfermedades graves. (*Las Balsas de Fosfoyesos Son Un Cementerio Radiactivo. • Ecologistas En Acción*, n.d.)



Fig.4 Fosfoyesos vistos desde arriba. (*“Resucitan” Las Movilizaciones Contra Los Fosfoyesos* -, n.d.)

2. HIPÓTESIS

1- Hipótesis 1. Generación de suelo sobre la capa de fosfoyesos

Lo primero a conseguir es la formación de suelo, primero se colocará una capa de cal para neutralizar su acidez y posteriormente se compostará sobre esta in situ sobre el terreno, posteriormente debe asegurarse de que no haya intercambio químico entre los fosfoyesos y el suelo, y además debe hacerse en tiempo real y con una gestión pública de los datos ofrecidos por el sistema, para generar seguridad y confianza en la mejora de la salud ambiental de los ciudadanos del entorno.

2- Hipótesis 2. Garantía química en el suelo naturalizado.

El proyecto sobre el que trata esta memoria, denominado Diseño de la parcela piloto del Bosque de la Salud de la Balsa de Fosfoyesos de Huelva, busca alternativas para la mejora en la prevención de la salud y la protección a los ciudadanos. Para ello, se deben tener en cuenta unas condiciones idóneas en la fase suelo que se quiere implementar de una forma segura e integrada en el entorno, sumada a necesaria naturalización de la masa de agua de las balsas de fosfoyesos, para la que debe diseñarse la actuación en otro proyecto en paralelo al presente.

Por un lado, debe existir la seguridad de que las especies químicas contenidas en los residuos de fosfoyesos queden inmovilizadas y por tanto no penetren en la capa de suelo creada al efecto y entren después en contacto con la atmósfera y los ciudadanos, aislando químicamente a las plantas localizadas en las capas más superficiales que serán plantadas en el que llamamos bosque de la salud.

Con esta finalidad y para conocer más en profundidad la respuesta del terreno una vez renaturalizada la zona de la experiencia piloto diseñada, se implantarán una serie de sensores en cada una de las capas del mismo, siendo estas: la más interna en la zona de fosfoyesos, la interfaz fosfoyeso / suelo formada por residuos cálcicos para subir el pH y evitar la subida de metales al suelo, y la más externa formada por el propio suelo incluyendo la vegetación, en lo que llamamos garantía biológica en el siguiente apartado.

Para ello se usarán las siguientes variables fisicoquímicas del sistema creado para conocer el grado de protección del suelo y por ello del entorno afectado.

1.- La conductividad (CE) en el suelo. La CE mide la capacidad que tiene un suelo para conducir la corriente eléctrica aprovechando las propiedades de las sales que éste contiene. Es un factor importante, con el que se pretende una óptima absorción de nutrientes por parte del componente vegetal. El exceso de conductividad hace que las especies químicas suban al suelo (*La Conductividad Eléctrica Del Suelo En El Desarrollo de Los Cultivos | Intagri S.C., n.d.*)

2.- El pH, sabiendo que al subir éste los metales empiezan a precipitar y por tanto no suben a la capa de suelo desde la de fosfoyesos.

3.- Hay que hacer un control del potencial redox, el cual está relacionado con el contenido de oxígeno que hay en el suelo. La descomposición de la materia orgánica (MO) y la liberación de carbono son procesos de carácter aeróbico, lo que significa que los microorganismos que participan en dicho proceso consumen oxígeno, CO₂ y H₂O. Es por ello por lo que, al aumentar la cantidad de MO en el medio, disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en él (*Qué Es y Qué Hace*, n.d.).

Si no hay evidencia de movimiento de iones y materia orgánica entre las diferentes fracciones, y además hay estabilidad mecánica (propuesta su medición a través del inclinómetro y otros sistemas diseñados en proyecto aparte), entonces tendremos un suelo sano, no afectado por metales, ni compuestos orgánicos, y seguro mecánicamente.

3- Hipótesis 3. Garantía biológica en la atmósfera cercana al suelo

Otra forma de garantizar un suelo estable es con la plantación de árboles y arbustos que filtren posibles partículas y derivados orgánicos de azufre, nitrógeno y demás compuestos provenientes de los fosfoyesos. Esta garantía biológica se consigue con la captura por las plantas específicas captadoras de sustancias químicas tóxicas y partículas que puedan existir en el entorno de la parcela naturalizada.

La contaminación del aire se considera un riesgo ambiental importante y cada vez más amenazante para la salud humana. Seis millones de muertes se atribuyen a la contaminación del aire cada año, el 91% de las cuales se debe a partículas. La vegetación es un medio xenobiótico para eliminar partículas (Wróblewska & Jeong, 2021).

3. OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto es diseñar una experiencia piloto para llevar a cabo una renaturalización del entorno (Fig.5) dónde actualmente se acumulan los residuos de fosfoyesos dentro del proyecto denominado “Bosque de la Salud” que busca restaurar las zonas anexas a las Marismas del Odiel asegurando la salud y tranquilidad de la población cercana.

Esto tiene como finalidad conocer el estado del terreno en cada momento y comprobar cómo las sustancias químicas localizadas en los fosfoyesos no están afectando a los estratos superiores y por ende al entorno de las Marismas, generar una vegetación que sume protección al entorno y los ciudadanos afectados, y por fin medir los desplazamientos que se puedan producir en las escombreras de fosfoyesos naturalizados con inclinómetros en localizaciones adecuadas.

Estos sensores serán colocados en distintas zonas dentro del terreno a naturalizar, atendiendo a todo el perímetro de este. Con este mecanismo de actuación se podrá tener conocimiento detallado de si la composición química del suelo está en movimiento y ocurren deslizamientos entre los estratos.



Fig.5 (Fosfoyesos Archivos - TINTO NOTICIAS, n.d.)

4. MATERIALES

Parcela piloto

Para la realización de un ensayo piloto se necesitará una parcela llana de 10 x10 m, que será el suelo. En ella se depositará una capa de cal y finalmente se creará in situ una capa de compost, y sobre esta empezaremos a plantar. Se cubrirá esta parcela con un techado (Fig.6) para aislarlo de la lluvia, y se instalará un sistema de riego para que el suelo esté húmedo de manera controlada.

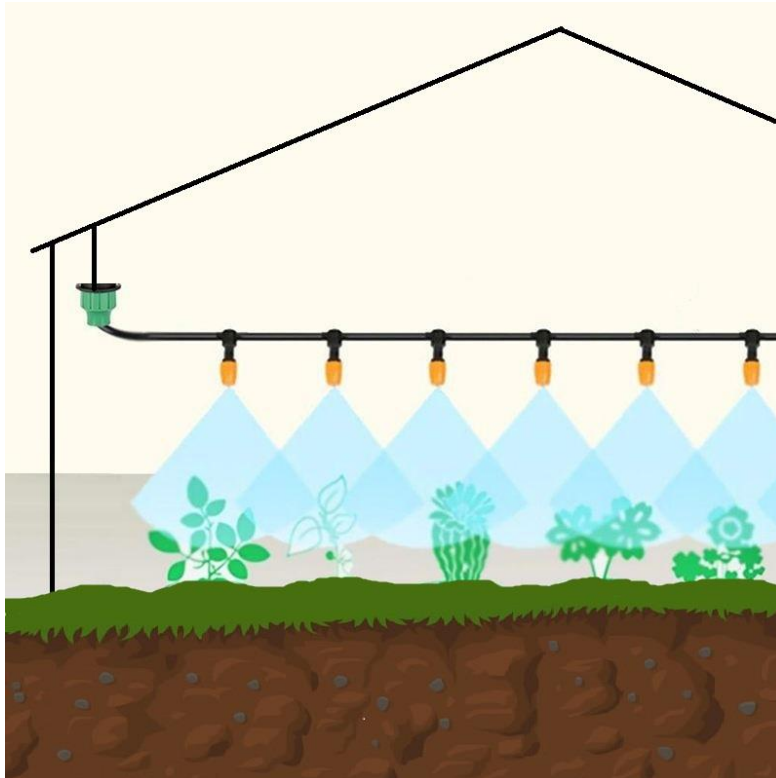


Fig. 6 Techado con sistema de riego. Elaboración propia.

Corrección del suelo

1- Corrección del pH

Para la generación de suelos se utilizarán diversos residuos cálcicos económicamente viables, tales como las cenizas de alperujo, siendo este un subproducto tóxico de la fabricación de aceite de oliva que, junto con conchas de moluscos ricas en carbonato cálcico por acción del propio carbonato se neutralizan los ácidos (iones de hidrógeno) y por tanto se elevará el pH del medio, entrando en un proceso de alcalinización.

2- Compostaje

Por otro lado, para la generación de suelo se utilizará compost EDAR y restos de biomasa vegetal, ramas trituradas y hojas secas. El proceso de generación de suelo consiste en apilar residuos orgánicos con el resto de los

materiales al aire libre para que tengan lugar procesos de oxidación-reducción (Fig.7). Debemos seleccionar residuos biodegradables aptos para su fabricación.

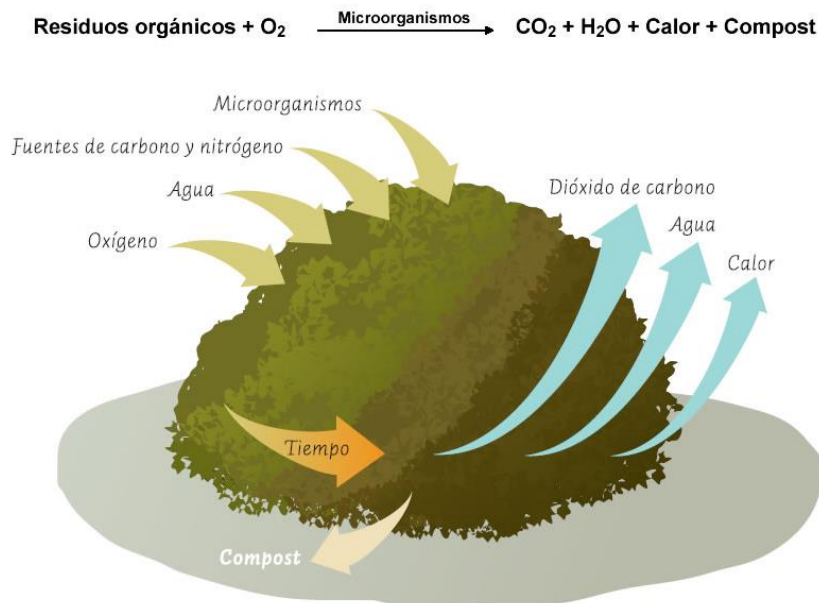


Fig.7 Elementos para producir compost. (*Biología Del Suelo: Compost*, n.d.)

En este caso se usará compost de EDAR. El lodo generado en una depuradora es un material semi-sólido, heterogéneo, obtenido durante los procesos de depuración de las aguas residuales en plantas EDAR. Es un material que aporta gran cantidad de nutrientes con un coste mínimo. (*Utilización Del Compost de Lodo En Agricultura - Master En Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos*, n.d.).

Añadir que, los lixiviados generados en el medio por el propio compost, los cuales humedecen y enriquecen el suelo, corresponden al exceso de agua provenientes del mismo, irán hacia la capa interna de fosfoyesos por lo que no interferirá en el suelo y por ende en la vegetación de las capas superiores. (*COMPOSTAJE*, n.d.).

Las distintas capas las podemos observar en la Fig.8.

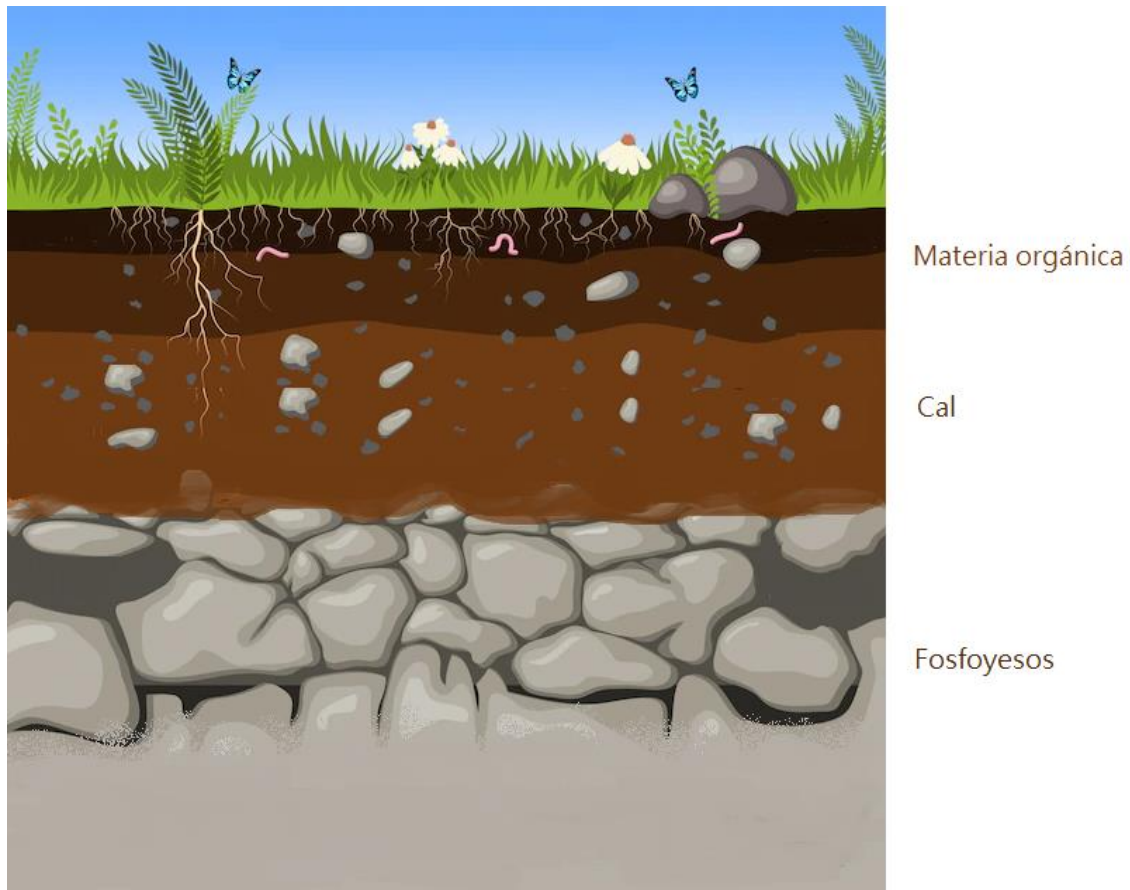


Fig.8 Distintas capas de la parcela piloto. Elaboración propia.

Sensores

1- Sensor de humedad

Miden una señal eléctrica que calcula la cantidad de agua en el suelo, lo cual permite determinar el volumen de agua almacenado en éste después del riego (*ABC de Los Sensores de Humedad En Las Labores de Riego – Cenicaña, n.d.*). Usaremos un sensor de humedad de la marca HENGKO.

2- pH metro

Un pH metro para medir la acidez o alcalinidad del suelo húmedo. El pH del suelo es una de las muchas condiciones ambientales que afectan la calidad del crecimiento de la planta. El mayor impacto que los pH extremos pueden tener en la planta está relacionado a la disponibilidad de los nutrientes o la concentración de minerales tóxicos para las plantas.

En suelos bien ácidos, los nutrientes como aluminio y manganeso se hacen más disponibles y tóxicos de lo usual. La medida del pH es importante para saber si los metales suben. Un pH neutro nos asegura que los metales no suban al suelo. Usaremos un pHmetro de la marca HANNA.

3- Potencial redox

El potencial redox es una forma de medir la energía química de oxidación-reducción mediante un electrodo, convirtiéndola en energía eléctrica. El potencial redox es positivo cuando se produce una oxidación y negativo cuando se produce una reducción. Se usará un medidor de potencial redox de la marca HANNA.

4- La conductividad

Es una medida de la propiedad que poseen los iones presentes en disolución acuosa para producir corriente eléctrica (Fig.9). La conductividad que varía en función de la temperatura está estrechamente ligada a la concentración de sustancias iónicas disueltas y a su naturaleza, y por ende mide en esta situación la cantidad de metales que se solubilizan en el suelo creado.

Respecto a la capa de vegetación y forestación plantada en la parcela, si la conductividad eléctrica de la disolución o de las raíces se encuentra por encima del óptimo, la planta tendrá que esforzarse más para poder absorber nutrientes. Por el contrario, si se encuentra en su valor óptimo, la planta podrá nutrirse sin gastar apenas energía (*¿Cómo Entender La Conductividad Eléctrica de Nuestro Suelo?* - *AGRI Nova Science*, n.d.). Usaremos un medidor de conductividad de la marca HANNA.



Fig.9 Sensor de conductividad (*El PH En El Suelo Del Césped, El Gran Ignorado.* - *Zulueta Corporación*, n.d.)

Plantas, árboles y arbustos

A continuación, se muestran una serie de plantas adecuadas al proyecto del Bosque de la salud:

Arbustos:

- ***Erica andevalensis***, o **brezo minero**, Se caracteriza por vivir sobre suelos mineros muy ácidos y cargados de metales pesados.
- **Jara** forman parte importantísima de los matorrales mediterráneos. Crecen siempre en suelos ácidos.
- La **adelfa** originariamente se encontraba como planta nativa en una amplia zona que cubría las riberas de la cuenca del mar Mediterráneo, es muy resistente a la sequía. Casi cualquier suelo bien drenado servirá; ácido o alcalino.
- **Cornejo** este arbusto crece muy rápido, debe crecer a pleno sol o a media sombra. El mejor tipo de suelo para este tipo de planta es el calcáreo o ligeramente ácido y húmedo.
- La planta de **alfalfa** es una fuente natural de nitrógeno, porque alberga bacterias simbióticas del suelo (rizobios) en los nódulos de la raíz que “fijan” (unen y depositan) nitrógeno del aire en el suelo. Por lo tanto, hace que el nitrógeno sea accesible a otras plantas.
- La **hortensia** básicamente es una planta que gusta de suelos ácidos.
- El **girasol** absorbe NO₂, se ve cierta influencia del nitrato del abono.
- La **azalea** es de crecimiento lento y prefieren suelos ácidos con buen drenaje.

Árboles:

- **Álamo común** prefiere suelos ligeramente ácidos.
- La **Picea** glauca, puede crecer en exposiciones de pleno sol y de semisombra. Resisten bien las heladas. Necesita de un suelo ácido para crecer. Su crecimiento es rápido.

Plantas tapizantes:

- La **gardenia**. Uno de sus principales requerimientos de cultivo es que necesitan crecer en tierras ácidas compuestas de hierro.
- **Esparraguera blanca** se desarrollará mejor en suelos con pH ácido, neutro o alcalino.
Las **petunias** absorben SO₂, NO₂ y ozono (este último mayoritariamente en las plantas con más edad). Prefieren un suelo ligero, bien drenado y ligeramente ácido.

5. MÉTODOS

Los residuos cálcicos y los fosfoyesos se removerán y se dejará actuar durante un tiempo, para que el PH suba. También se harán agujeros de 1m de profundidad, para que las raíces crezcan y asienten el terreno (Fig.10).

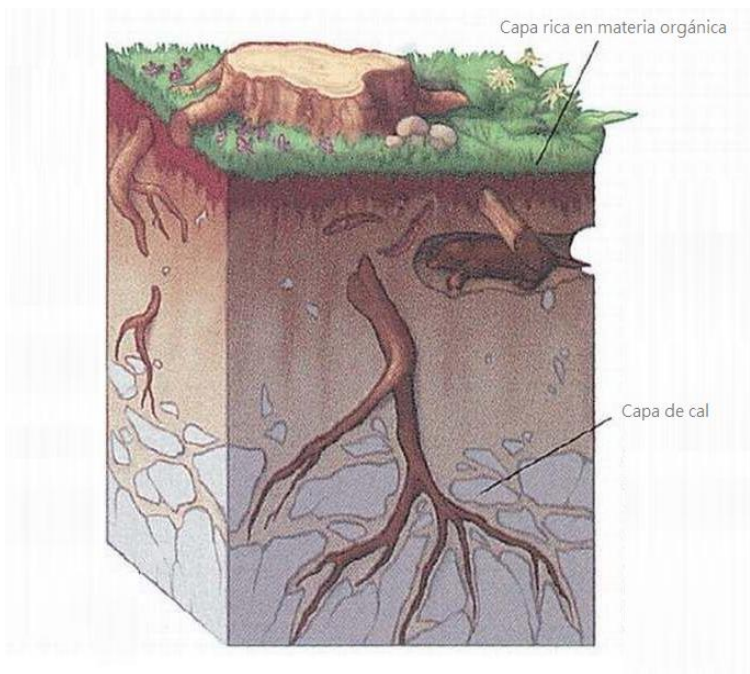


Fig.10 Raíces penetrando en el suelo y cal.(*DETERMINACIÓN DE FACTORES DE ENRIQUECIMIENTO E ÍNDICES DE GEOACUMULACIÓN DE PLOMO, CADMIO Y NÍQUEL EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL SECTOR SAN ALFONSO - PDF Descargar Libre, n.d.*)

A continuación, se removerá el compost EDAR, las ramas y las hojas, y montamos la siguiente capa.

El compost necesita aireación, por lo que se instalará un sistema por donde entra y sale el aire (Fig.11). Se implantará una chimenea de aireación de entrada a ras de suelo (0m) y otra de salida un poco más alta (2m), con una separación de 10m una de otra, de manera que el aire entre por la chimenea más baja, se caliente en el proceso biológico de compostaje y salga a velocidad por la chimenea más alta.

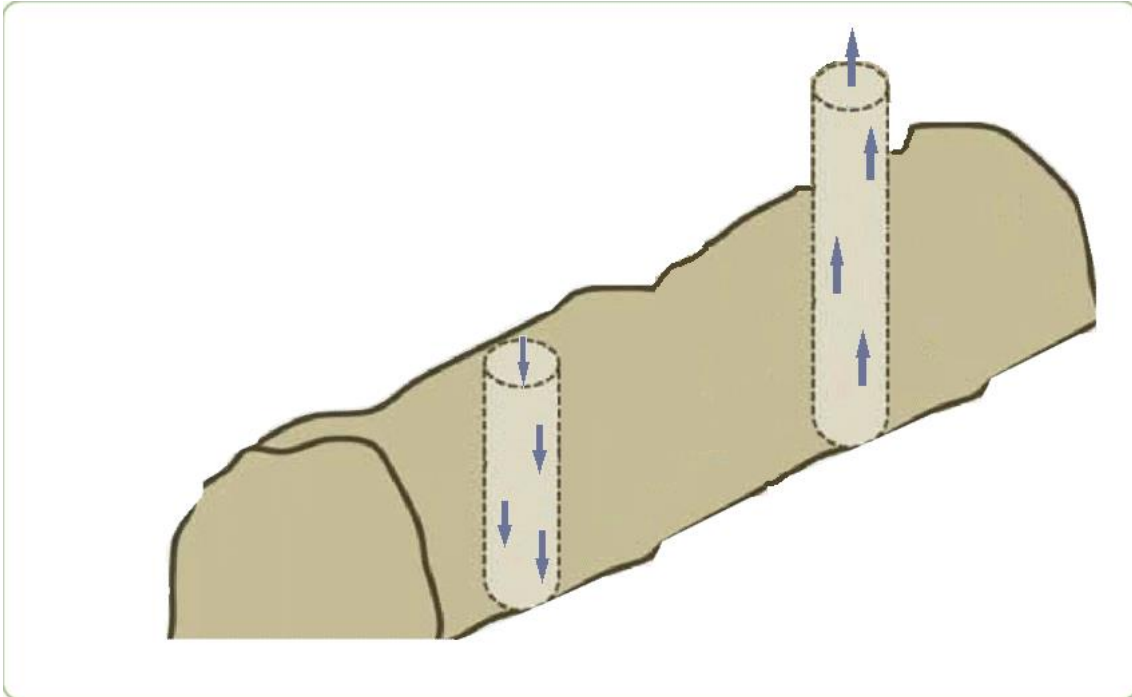


Fig.11 Chimenea de aireación. Elaboración propia.

Control de procesos en el suelo:

Para controlar la calidad del suelo en cada momento se hará uso de unos tubos que se instalarán en cada una de las capas (suelo, interfaz suelo-fosfoyeso y fosfoyesos) en los que el lixiviado se introducirá de forma natural, para posteriormente medir los distintos parámetros. También se instalarán unos sensores de nivel para conocer en todo momento la altura del fluido dentro de los tubos, que controlen unas bombas para extraer el lixiviado cuando sea necesario. En el exterior colocaremos un sistema de riego, de manera que tengamos controlada la humedad del suelo.

Durante la ejecución del proyecto y la postclausura de la parcela se realizará un seguimiento exhaustivo para prevenir cualquier impacto ambiental, contando para ello con la más avanzada instrumentación y con un intenso plan de análisis de aguas subterráneas, situación del suelo, datos meteorológicos, etc, con el fin de garantizar la seguridad y durabilidad del proyecto.

Se pondrá un sensor de humedad de manera que cuando llegue a un 80%, cortamos el riego y extraemos una muestra. Cuando se detecte que ha bajado del 75% volvemos a regar.

Se instalará un lisímetro de succión (Fig.12). El lisímetro consigue captar la solución del suelo mediante la creación de un vacío (presión negativa o succión) dentro del tubo tomamuestras (*Lisímetro de Succión Para La Extracción de Agua y Nutrientes Del Suelo, Tienda On Line, n.d.*). De aquí mediremos el compuesto orgánico que pueda haberse movilizado desde los fosfoyesos. Usaremos un lisímetro de la marca Irrrometer.

Toma de muestras en suelo con dispositivo de "lluvia" para estandarizar las medidas según la humedad

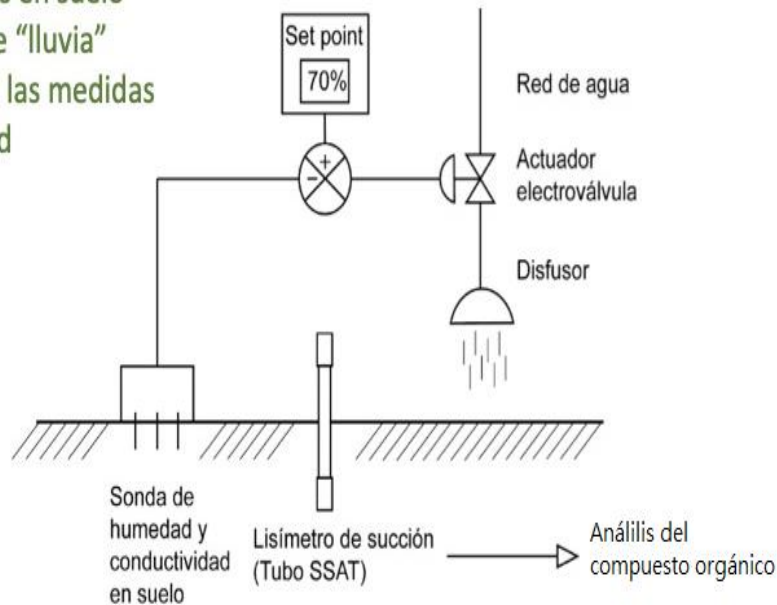


Fig.12 Lisímetro. Elaboración del grupo TAR

La determinación electrométrica del pH se basa en la medida de la actividad de los iones de H^+ por mediciones potenciométricas utilizando un electrodo indicador de vidrio y tampones de pH 4 y 7. Un pH elevado indica una baja concentración de iones H^+ , y por tanto un medio alcalino. Por el contrario, un pH bajo indica la acidificación del medio (*Cambiando El PH Del Suelo | Home & Garden Information Center, n.d.*).

El potencial redox se mide en suelo húmedo y debe ser positivo para que se produzca una oxidación y así aumentar la cantidad de oxígeno en suelo. Cuanto mayor sea la materia orgánica, menos oxígeno habrá por su oxidación biológica, por lo tanto, el potencial redox disminuye. Para medirlo se introducirá en las 3 capas unos tubos con agujeros, por los que se introducirá el lixiviado. Se medirá el potencial redox de este fluido y después, vaciaremos los tubos con unas bombas.

La conductividad eléctrica presenta correlaciones directas con los metales (*Capítulo VIII Estudio de La Movilización de Metales Pesados, n.d.*) por lo tanto, da información del movimiento de las especies químicas entre los fosfoyesos y el suelo, a mayor conductividad mayor movimiento de los metales, llegando a subir hasta el suelo.

De esta manera puede medirse si suben o no suben al suelo los metales y la materia orgánica, y así asegurar la salud de los ciudadanos y el entorno.

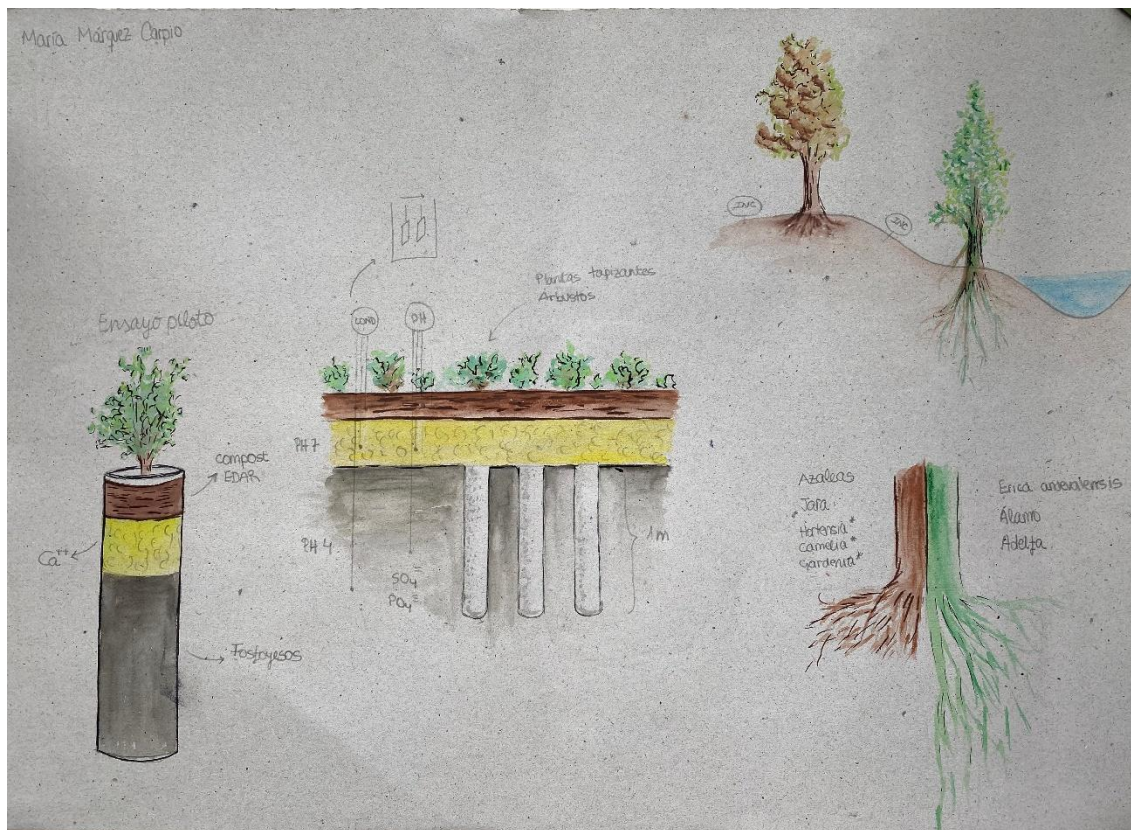


Fig.13 Resumen de los distintos procesos a llevar a cabo. Elaboración propia.

El tipo de restauración vegetal y forestal que se plantea tiene que ser coherente tanto desde el punto de vista ecológico como paisajístico con el territorio y los usos previstos. Esto implica que deberá tratarse el terreno alterado con el aspecto y composición vegetal predominante lo más parecida posible a la existente antes, pero sumando los conceptos necesarios de garantía biológica para escoger las especies.

En general, en la revegetación las plantas deberán integrarse adecuadamente en el medio alterado, lo que implica la utilización de especies autóctonas como pinos, lentisco, jaguarzo... adaptadas a las condiciones del medio en que se actúa, lo que facilitará el éxito de los tratamientos, contribuiremos a la conservación de las especies autóctonas de la marisma de Huelva y al mismo tiempo reducirá los costes de mantenimiento.

La plantación de ejemplares arbóreos y de matorral y plantas tapizantes que formen una cubierta vegetal estable, además de servir para controlar la erosión y mejorar la integración paisajística supondrá una fuente de alimento y refugio para muchas aves y mamíferos.

Se plantarán árboles y arbustos al tresbolillo (filas de dos, uno, dos y así hasta el final) y las plantas tapizantes en surcos en espina de pez. Para ello haremos agujeros en los que volveremos a compostar para asegurar la alimentación del vegetal plantado y criado.

6. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Este proyecto guarda una serie de semejanzas con el proyecto diseñado por la empresa Fertiberia, denominado Restore 20/30. Pero la filosofía de este es totalmente diferente en su concepto principal: la creación de un suelo seguro sobre las propias capas de fosfoyesos, suelo seguro químicamente, atmosfera protegida por la naturalización del mismo y el aseguramiento del mismo por la vegetación que controla la erosión de forma natural.

La principal diferencia entre el proyecto Restore 20/30 y el proyecto aquí descrito, denominado El Bosque de la Salud, radica en cómo se aísla la balsa de fosfoyesos con procedimientos totalmente opuestos. Mientras que la empresa Fertiberia busca el encapsulamiento de los fosfoyesos, con la implantación de una geomembrana además de una segunda capa de arcilla compactada. A todo este conjunto de fracciones además proponen adicionar una tercera capa de tierra vegetal donde tenga lugar la plantación y revegetación de la zona. Esta separación fosfoyeso–suelo hace vulnerable toda la balsa a futuro por movimientos de todo tipo que hacen posible que “baile” el suelo creado, se considera que el encapsulamiento de los fosfoyesos a largo plazo puede incurrir en problemas con el sellado de las balsas. Pequeños movimientos sísmicos, con gran concurrencia en la zona, pueden provocar el desplazamiento de estas capas de geomembranas, y por tanto la salida de los fosfoyesos de nuevo al entorno con el problema medioambiental que eso conlleva.

El proyecto Tar tiene una idea diametralmente opuesta, se considera que una naturalización completa del entorno, donde los fosfoyesos que son la parte pasiva y nociva de la balsa deben jugar un papel fundamental y prioritario en su propia naturalización. Por ello, la generación de un suelo primigenio, no siendo una capa de tierra vegetal ya depositada puede contribuir a la mejor naturalización.

Este suelo compostado in situ se integrará por completo sobre el apilamiento de fosfoyesos, y favorecerá las plantaciones de especies vegetales autóctonas, las cuales a través de su crecimiento puedan darle sostén y firmeza a la fracción de suelo, y por ende a la fracción de fosfoyesos localizada en las zonas inferiores. De este modo, donde todos los elementos requeridos para la naturalización de este entorno queden integrados y no supongan un peligro en los años venideros a la conclusión del proyecto.

Por ello la idea de no llevar a cabo un encapsulamiento estricto de los residuos mediante materiales externos se considera mucho menos peligrosa, debido a que mediante movimientos sísmicos o procesos naturales como fuertes inundaciones no se producirá una salida de los fosfoyesos al entorno, debido a que no se encontrarán encapsulados, sino integrados con la fracción de suelo que tienen inmediatamente en su zona superior y a las raíces vegetales que darán sostén y firmeza al conjunto.

Además, por otro lado, también convendría citar el tema económico. Donde el proyecto 20/30 supone una importante inversión económica por la implantación de los diferentes materiales, El Bosque de la Salud no supondría

una inversión tan fuerte, debido a que todos los materiales utilizados serán naturales y se llevarán a cabo procesos biológicos en su consecución.

7. DISEÑO DEL CONTROL DEL PROCESO PARA LA GARANTIA QUÍMICA.

1- Control automático

Para el diseño de la automatización se colocará un techado sobre una parcela, en la que regaremos en función del estado del suelo, sin que afecte la situación meteorológica exterior.

En cada capa de suelo, interfaz suelo fosfoyesos y fosfoyeso se colocará un tubo en el que se irá introduciendo el agua del entorno inmediatamente cercano. También instalaremos unos sensores, que avisarán de que hay que medir los parámetros (Ref. medir). También se añadirán otros sensores para indicar cuando la bomba tiene que extraer el lixiviado (Ref. bomba). Podemos ver esta estructura en Fig.14.

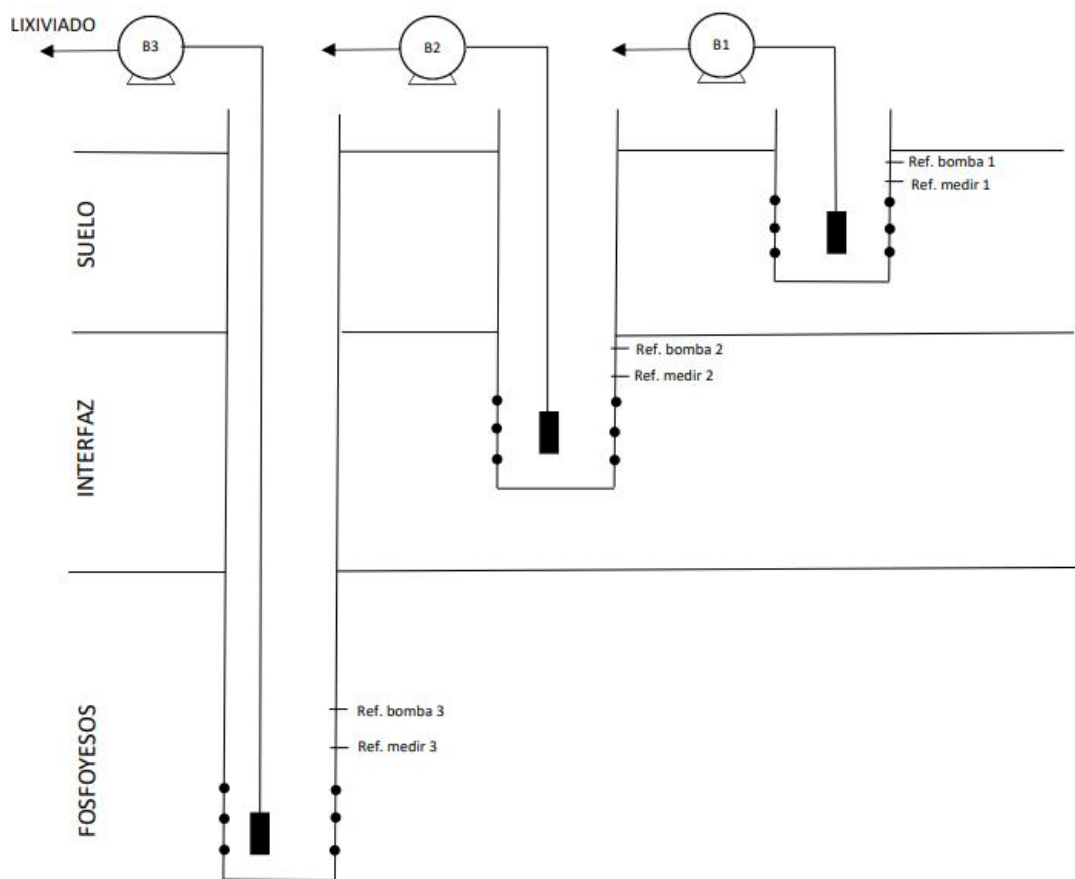


Fig.14 Estructura del proceso de control. Elaboración propia.

El proceso de control es el siguiente:

- Al suelo se le llamará capa 1, a la interfaz capa 2 y a los fosfoyesos capa 3.
- Cuando la capa 2 esté llena, se mide el potencial redox, también en la capa 1 y 3. Si 1 y 3 no se puede medir porque el tubo no esté lleno, esperamos 60 min (iterativo). Cuando se mida 1 y 3, también se hace en 2 para tener las mediciones de las tres capas en el mismo periodo de tiempo.
- Si el sensor de la bomba detecta el lixiviado, las bombas empezarán a funcionar extrayéndolo.

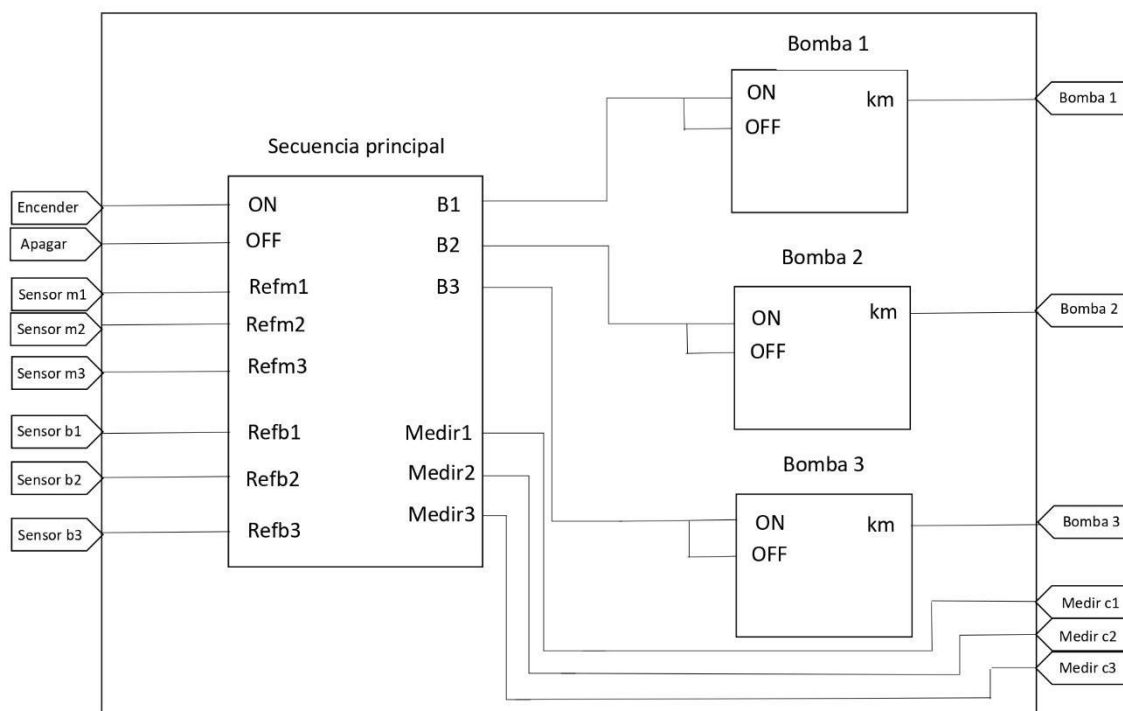


Fig.15 CFC del proceso de control. Elaboración propia.

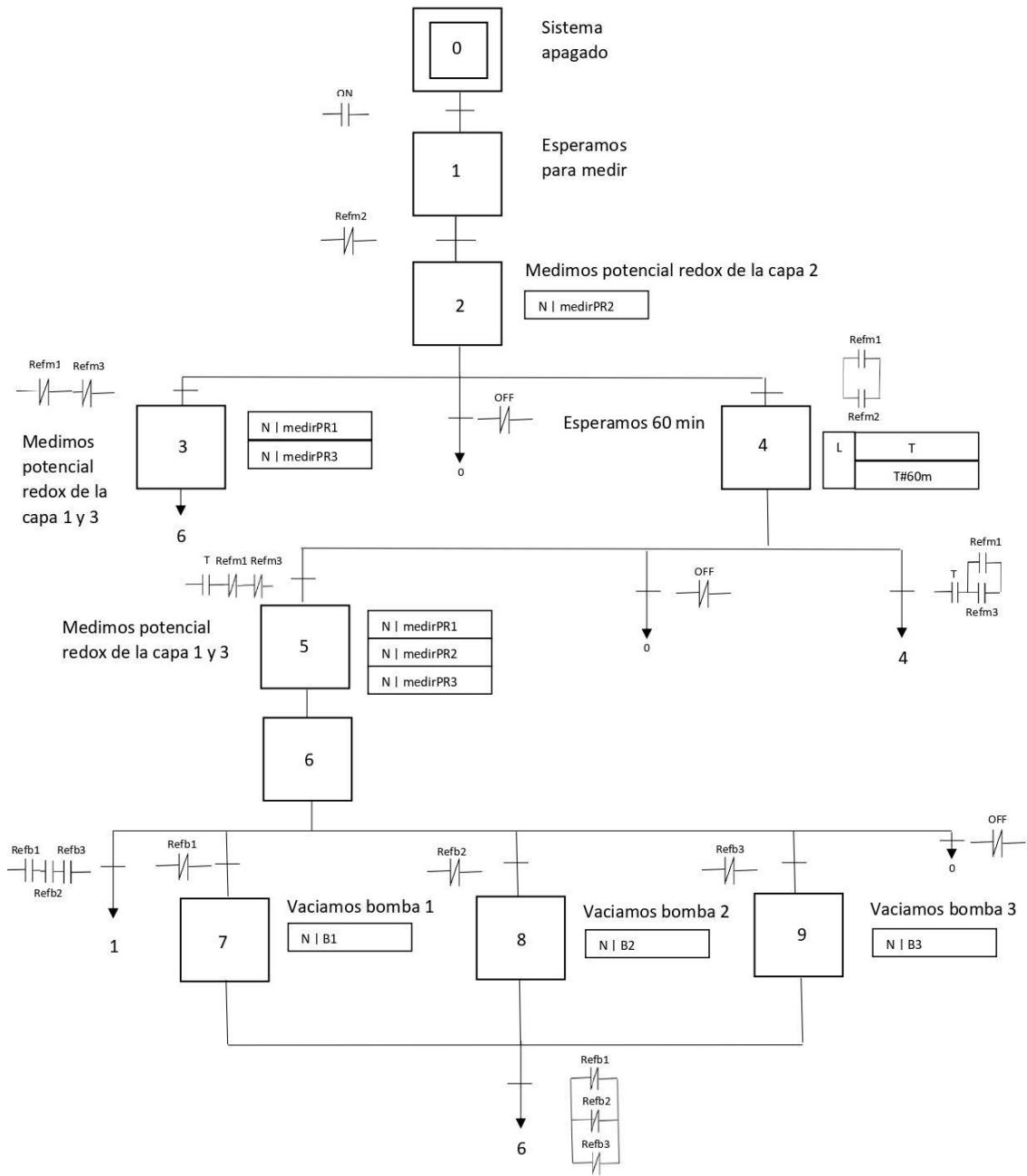


Fig.16 SFC del proceso de control. Elaboración propia.

2- Control biológico

Árboles y arbustos

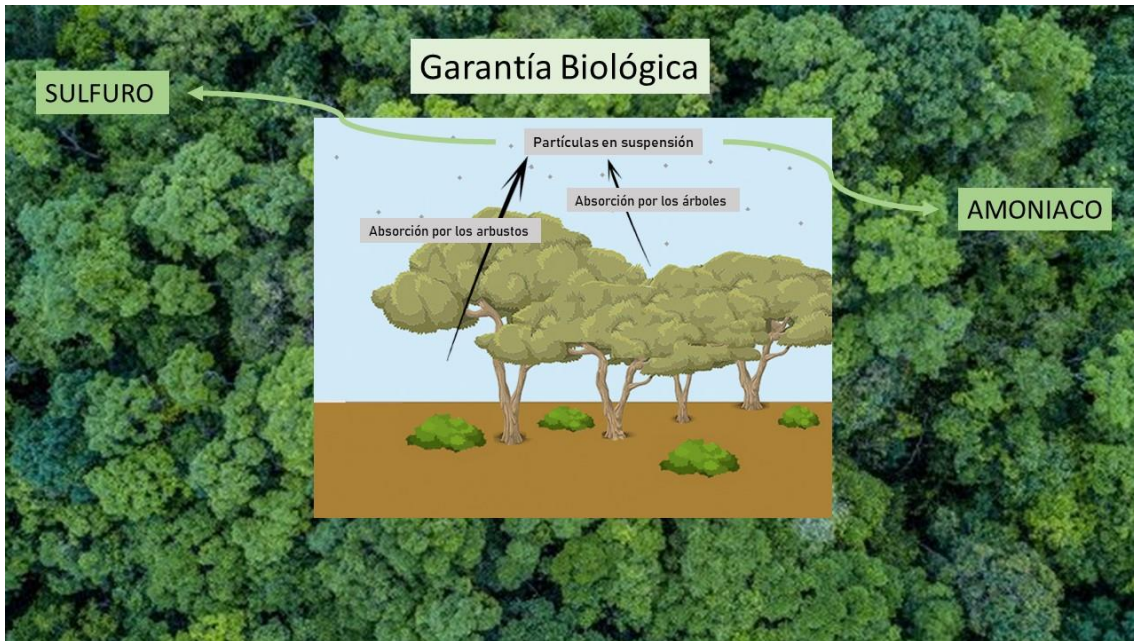


Fig. 17 Captura de emisiones a la atmósfera. Elaboración propia.

Plantas tapizantes

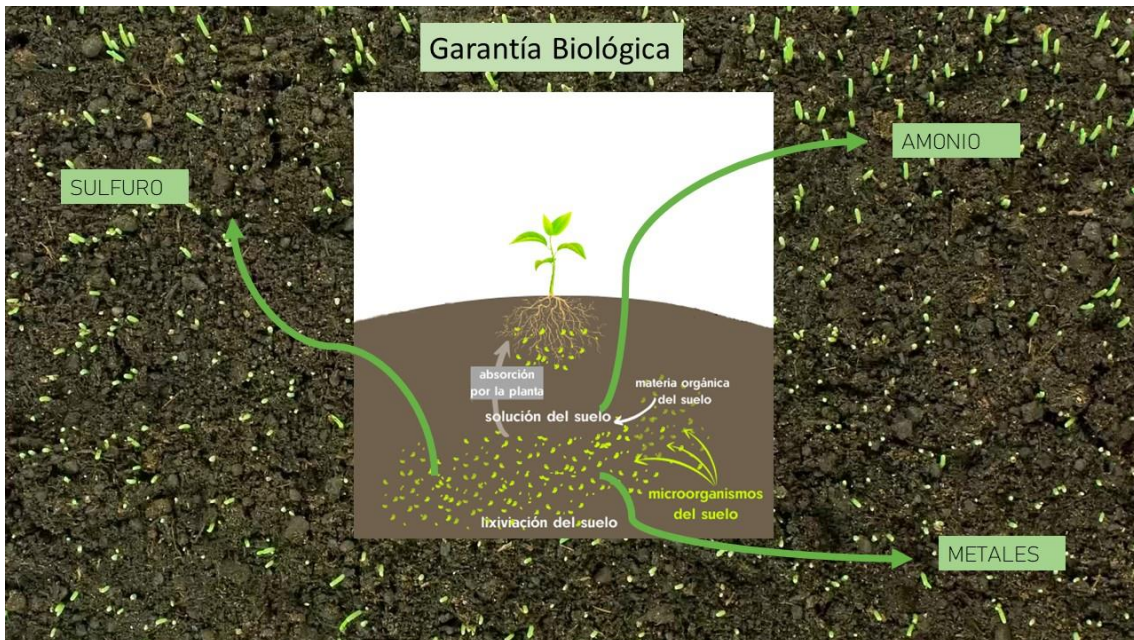


Fig. 18 Captura de sustancias disueltas en el suelo. Elaboración propia.

8. CONCLUSIONES

Después de la implantación y ejecución de este proyecto, se habrán registrado una serie de cambios en el entorno de parcela experimental de la balsa de fosfoyesos. Tendremos un suelo estable y controlado por sensores y plantas, con garantías química y biológica.

Por un lado, y en primer lugar se habrá conseguido alcalinizar, neutralizar el medio, retirando parte de la acidez que presenta actualmente. Como se ha hablado con anterioridad, esto se consigue gracias a la acción del carbonato cálcico utilizado para la generación de la fracción de suelo. Se conseguirá elevar el pH, el cual está localizado en un valor cercano a 4 hasta el valor de 7, consiguiendo por tanto un valor neutro de pH a través del cual se ayude a las plantas a absorber mejor los nutrientes localizados en el medio, aun escogiendo para este proyecto plantas de un marcado carácter acidófilo, buscando con ello la total integración en el entorno, el cual podría resultar hostil para especies vegetales que no soporten estas condiciones de acidez.

El potencial redox también aumentará, y junto con el citado aumento del pH propiciará que los metales localizados en las fracciones inferiores acaben precipitando y no asciendan al suelo fértil, por lo cual se busca que no interfieran negativamente con el conjunto de la biomasa localizado en la fracción más externa. Las moléculas orgánicas serán controladas in situ.

Además, como consecuencia de la naturalización de la balsa de fosfoyesos y de la creación de un suelo natural totalmente integrado en el entorno, revegetado también se podrá observar que las partículas de polvo en la atmósfera serán casi inexistentes.

Por otro lado, los costes del sistema Tar serán mucho menores que los de la solución Restore propuesta actualmente, ya que los materiales a emplear son mucho más asequibles en este caso y deben aplicarse en la misma extensión en ambas situaciones.

La conclusión final dice que la experiencia piloto diseñada, permitirá medir consecuencias de esta técnica desarrollada por el grupo Tar en base a datos reales, no sobre propuestas empíricas, para generar la necesaria confianza en la población, que podrá acceder a los mismos online de la manera que se establezca, y también en los gestores que deban tomar decisiones de tanta importancia para los ciudadanos.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ABC de los sensores de humedad en las labores de riego – Cenicaña.* (n.d.). Retrieved April 21, 2022, from <https://www.cenicana.org/abc-de-los-sensores-de-humedad-en-las-labores-de-riego/>
- Asociaciones y partidos de Huelva analizan los problemas que pueden generar las balsas de fosfoyesos.* (n.d.). Retrieved March 24, 2022, from https://www.huelvainformacion.es/huelva/Asociaciones-partidos-Huelva-problemas-fosfoyesos_0_1554446163.html
- Cambiando el pH del Suelo | Home & Garden Information Center.* (n.d.). Retrieved March 24, 2022, from <https://hgic.clemson.edu/factsheet/cambiando-el-ph-del-suelo/>
- Capítulo VIII Estudio de la movilización de metales pesados.* (n.d.).
- ¿Cómo entender la conductividad eléctrica de nuestro suelo? - AGRI nova Science.* (n.d.). Retrieved March 24, 2022, from <https://agrinova.com/noticias/como-entender-la-conductividad-electrica-de-nuestro-suelo/>
- COMPOSTAJE.* (n.d.).
- El PH en el suelo del césped, el gran ignorado. - Zulueta Corporación.* (n.d.). Retrieved March 24, 2022, from <https://zulueta.com/el-ph-en-el-suelo-del-cesped-el-gran-ignorado/>
- El triángulo del cáncer: por qué en Huelva, Cádiz y Sevilla se muere más que en el resto de España.* (n.d.). Retrieved March 24, 2022, from https://www.elespanol.com/reportajes/grandes-historias/20170224/196230728_0.html
- Fertiberia PDF1[7824].* (n.d.).
- FICHA TÉCNICA.* (2010).
- Fosfoyesos archivos - TINTO NOTICIAS.* (n.d.). Retrieved April 18, 2022, from <https://tintonoticias.com/tag/fosfoyesos/>
- Fosfoyesos: el ecocidio de Huelva -.* (n.d.). Retrieved April 18, 2022, from <http://revista.lamardeonuba.es/fosfoyesos-el-ecocidio-de-huelva/>
- La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos | Intagri S.C.* (n.d.). Retrieved March 24, 2022, from <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>

- La mayor montaña tóxica de Europa asfixia a Huelva | lamarea.com.* (n.d.). Retrieved March 24, 2022, from <https://www.lamarea.com/2014/06/01/la-mayor-montana-toxica-europa-asfixia-huelva/>
- Las Balsas de Fosfoyesos son un cementerio radiactivo. • Ecologistas en Acción.* (n.d.). Retrieved March 24, 2022, from <https://www.ecologistasenaccion.org/7649/las-balsas-de-fosfoyesos-son-un-cementerio-radiactivo/>
- Lisímetro de succión para la extracción de agua y nutrientes del suelo, tienda On Line.* (n.d.). Retrieved April 21, 2022, from https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=11002&_lisimetro_de_succion_para_la_extraccion_de_agua_y_nutrientes_del_suelo_tienda_on_line
- Macías, F., Cruz–Hernández, P., Carrero, S., & Nieto, J. M. (2017). Estudio de la movilidad de contaminantes del depósito de fosfoyesos de Huelva. *Geogaceta*, 62, 107–110.
- Qué es y qué hace.* (n.d.).
- Restore 20/30: sellar fosfoyesos para devolver a Huelva su entorno natural.* (n.d.). Retrieved March 24, 2022, from <https://www.innovaspain.com/restore-20-30-fertiberia/>
- “Resucitan” las movilizaciones contra los fosfoyesos -.* (n.d.). Retrieved April 18, 2022, from <http://revista.lamardeonuba.es/los-fosfoyesos-resucitan-a-las-puertas-de-un-largo-periodo-electoral/>
- Utilización del compost de lodo en agricultura - Master en Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos.* (n.d.). Retrieved April 18, 2022, from <http://masterresiduos.edu.umh.es/2016/06/02/utilizacion-de-compost-de-lodo-en-agricultura/>
- . Métodos analíticos.* (n.d.).
- Información sobre la absorción de SO_x y NO_x por plantas.* (n.d.).
- Biología del Suelo: Compost.* (n.d.). Retrieved May 19, 2022, from <http://biosuelos.blogspot.com/p/compost.html>
- DETERMINACIÓN DE FACTORES DE ENRIQUECIMIENTO E ÍNDICES DE GEOACUMULACIÓN DE PLOMO, CADMIO Y NÍQUEL EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL SECTOR SAN ALFONSO - PDF Descargar libre.* (n.d.). Retrieved May 19, 2022, from <https://docplayer.es/65874823-Determinacion-de-factores-de-enriquecimiento-e-indices-de-geoacumulacion-de-plomo-cadmio-y-niquel-en-suelos-agricolas-del-sector-san-alfonso.html>

El alcalde anuncia una pronta resolución sobre los fosfoyesos tras completar Fertiberia su plan – Diario de Huelva. (n.d.). Retrieved May 19, 2022, from <https://www.diariodehuelva.es/2021/07/01/fosfoyesos-huelva-fertiberia-alcalde/>

El triángulo del cáncer: por qué en Huelva, Cádiz y Sevilla se muere más que en el resto de España. (n.d.). Retrieved March 24, 2022, from https://www.elespanol.com/reportajes/grandes-historias/20170224/196230728_0.html

FICHA TÉCNICA. (2010).

Información sobre la absorción de SO_x y NO_x por plantas. (n.d.).

Wróblewska, K., & Jeong, B. R. (2021). Effectiveness of plants and green infrastructure utilization in ambient particulate matter removal. *Environmental Sciences Europe*, 33(1). <https://doi.org/10.1186/S12302-021-00547-2>

10. ANEXOS

1- Ficha técnica de fosfoyesos

(FICHA TÉCNICA, 2010)

2- Información sobre la absorción de SO_x y NO_x por plantas

(Información Sobre La Absorción de SO_x y NO_x Por Plantas, n.d.)

3- Determinaciones

(. . Métodos Analíticos, n.d.)

4- El mayor caso de contaminación industrial de Europa

(Fertiberia PDF1[7824], n.d.)

5- Plantas autóctonas acidófilas



Erica andevalensis, o **brezo minero**, es una especie arbustiva o pequeño árbol del género *Erica*, endémica de provincia de Huelva.

Se caracteriza por vivir sobre suelos mineros muy ácidos y cargados de metales pesados (escombreras de minas, bordes de cauces de agua...). Está catalogada como 'en peligro de extinción' en la legislación andaluza.



Populus alba, el **álamo blanco**, **álamo común** o **chopo blanco** es un árbol de fronda perteneciente a las salicáceas. Crece en lugares húmedos, a menudo junto al agua, en regiones con veranos calurosos e inviernos frescos. A nivel de textura y pH, prefiere suelos ligeramente ácidos, para conseguir una buena solubilidad de nutrientes y textura suelta, con buen contenido en arenas.



Jara (cistus Ladanifer) forman parte importantísima de los matorrales mediterráneos. Crecen siempre en suelos ácidos (graníticos, pizarrosos) pero casi nunca calizos. Se desarrolla en ambientes climáticos muy diversos, siendo capaz de soportar desde estrés de frío hasta sequedad y altas temperaturas, durante periodos más o menos largos del año.



La **adelfa** (*Nerium oleander*).

Originariamente se encontraba como planta nativa en una amplia zona que cubría las riberas de la cuenca del mar Mediterráneo, es muy resistente a la sequía. Casi cualquier suelo bien drenado servirá; ácido o alcalino. También soporta el viento y el rocío de sal, por lo que es una planta ideal para la plantación en playas.



El género *Hydrangea* incluye plantas ornamentales, comúnmente conocidas como **hortensias**, nativas del sur y el este de Asia y de América. La hortensia básicamente es una planta que gusta de suelos ácidos. Este arbusto requiere un terreno húmedo y bien drenado.



Las **gardenias (*Gardenia jasminoides*)** son unas plantas de la familia de las rubiáceas originarias de China. Uno de sus principales requerimientos de cultivo es que necesitan crecer en tierras ácidas compuestas de hierro y con abundante humedad.



Asparagus albus o esparraguera blanca es original de Europa (Oeste y Centro del Mediterráneo). Se desarrollará mejor en suelos con pH ácido, neutro o alcalino.



Cornejo este arbusto crece muy rápido, debe crecer a pleno sol o a media sombra. El mejor tipo de suelo para este tipo de planta es el calcáreo o ligeramente ácido y húmedo.



La **Picea** glauca, puede crecer en exposiciones de pleno sol y de semisombra. Resisten bien las heladas. Necesita de un suelo ácido para crecer. Su crecimiento es rápido.



La **azalea** es un arbusto de flores del género *Rhododendron*. Por lo general las azaleas son de crecimiento lento y prefieren suelos ácidos con buen drenaje. Requiere de poca cantidad de fertilizante; algunas especies requieren de poda frecuente



La planta de **alfalfa** es una fuente natural de nitrógeno, porque alberga bacterias simbióticas del suelo (rizobios) en los nódulos de la raíz que “fijan” (unen y depositan) nitrógeno del aire en el suelo. Por lo tanto, hace que el nitrógeno sea accesible a otras plantas.



Las **petunias** absorben SO_2 , NO_2 y ozono (este último mayoritariamente en las plantas con más edad). Prefieren un suelo ligero, bien drenado y ligeramente ácido.



El **girasol** absorbe NO_2 , se ve cierta influencia del nitrato del abono. Los girasoles necesitan mucha luz solar para crecer y deben estar plantados en áreas espaciosas para poder crecer lo más posible.



El **crisantemo** se adapta fácilmente. Esta planta es famosa porque la NASA la considera una máquina de purificar aire. Elimina amoníaco, benceno, formaldehído y xileno de aire de su casa. Es popular y de bajo costo. Lo ideal es tener un tipo de suelo neutro o apenas ligeramente ácido.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 3.3	Mes: DICIEMBRE Año: 2010
FOSFOYESO		
Nombre en inglés: phosphogypsum		

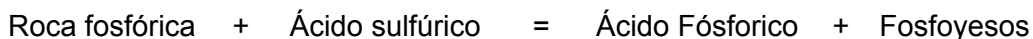


FOSFOYESO

1.-ORIGEN

La producción de ácido fosfórico por vía húmeda para su uso principalmente en la fabricación de fertilizantes fosfatados, polifosfatos sódicos para detergentes u otras aplicaciones. Se realiza atacando los fosfatos naturales, a partir de la roca fosfórica, con ácido sulfúrico al 70%⁽¹⁷⁾, y se genera un subproducto constituido fundamentalmente por sulfato cálcico hidratado que se denomina fosfoyeso. Por cada tonelada de ácido fósforico producida, se generan de 4,5 a 5,5 toneladas de fosfoyeso por lo que se estima que la producción mundial de fosfoyesos es de unos 100 a 280 millones de toneladas (Mt) al año.

La reacción química simplificada sería la siguiente:



El fosfoyeso tiene unas características distintas a las del yeso obtenido a partir de la roca de yeso y para poder ser utilizado como sustitutivo de éste, de forma rentable económicamente, se requiere una mayor investigación.

Existen tres procesos para la fabricación del óxido de fósforo: Proceso dihidratado, proceso hemihidratado y proceso hemi-dihidrato⁽⁹⁾.

El proceso dihidratado, es el proceso más estable y es el que requiere una menor inversión inicial de capital y tiene un bajo coste de producción. Es el proceso más utilizado en el mundo. Produce entre 28-30% de ácido fosfórico. Se generan 4,9 toneladas de fosfoyeso seco por cada tonelada de ácido fósforico producido. El fosfoyeso generado contiene gran número de impurezas. Este proceso es el que se utiliza en la fábrica de Huelva.

El proceso hemihidratado tiene un coste de inversión inicial y de producción más alto que el anterior. Produce entre 40-50% de ácido fosfórico. Genera 4,3 toneladas de fosfoyeso por ácido fosfórico, es decir, se obtiene menor cantidad de residuo y, la cantidad de impurezas es también menor.

El proceso hemi-dihidrato combina las ventajas de los dos anteriores. A pesar de todo es el menos

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 3.3	Mes: DICIEMBRE Año: 2010
FOSFOYESO		

utilizado. Genera 4,9 toneladas de fosfoyeso por cada tonelada de óxido de fósforo y el fosfoyeso generado es el que contiene menor número de impurezas de los tres.



Las industrias de producción de ácido fosfórico son consideradas industrias de tipo NORM (Naturally Occurring Radioactive Material). Se trata de industrias convencionales no nucleares que se caracterizan por utilizar en su proceso de producción materia prima que contiene concentraciones elevadas de radionucleidos naturales o bien, debido a las características de su proceso de producción, generan productos comerciales, sub-productos o residuos enriquecidos en estos radionucleidos. En España, este tipo de industria está sometido al Título VII del Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes^(14, 17).

La roca fosfórica de origen sedimentario utilizada como materia prima en las fábricas de producción de ácido fosfórico de Huelva contiene concentraciones de actividad en torno a $1,5 \times 10^3$ Bq/kg de ^{238}U en equilibrio secular con todos sus descendientes. Además, en el proceso dihidratado de producción de ácido fosfórico utilizado en Huelva, el contenido radioactivo presente originalmente en la roca sufre un fraccionamiento selectivo. Así, la mayor parte de los isótopos de uranio se disuelven en el proceso acompañando al ácido fosfórico producido, mientras que por el contrario, en torno al 90% del ^{226}Ra , ^{210}Pb y ^{210}Po terminan asociados al fosfoyeso en concentraciones en torno a los 7×10^2 Bq/kg. La presencia de estos radionucleidos naturales de la serie del uranio en el fosfoyeso, debe ser tenido en consideración en su gestión y posible valorización^(14, 17, 18).

La naturaleza y características del fosfoyeso están estrechamente influenciadas por la

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 3.3	Mes: DICIEMBRE Año: 2010
FOSFOYESO		

composición y calidad de la roca fosfórica, el proceso de fabricación empleado, el método de vertido usado, así como la edad, localización y profundidad del apilamiento.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) ha clasificado el fosfoyeso como TENORM (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material), material radioactivo de origen natural cuyo procesamiento ha aumentado la concentración de los radionucleidos originales. Los niveles de radiación del fosfoyeso varían considerablemente de un apilamiento a otro y también según la zona dentro de un mismo apilamiento, debido a una serie de factores, como son: concentración de radio en la roca fosfórica, existencia de cobertura vegetal, porosidad, contenido en humedad, presencia de agua estancada, temperatura, presión atmosférica, etc⁽¹⁹⁾.

2.-VOLUMEN Y DISTRIBUCIÓN DEL RESIDUO

En las proximidades de la ciudad de Huelva está implantado un gran complejo de industria química básica que incluye diversas plantas dedicadas a la producción de ácido fosfórico. Estas plantas son los únicos centros de producción de ácido fosfórico en España y son los mayores productores de Europa, con una producción anual que supera las 500.000 toneladas de P₂O₅. Estas fábricas generan unos dos millones de toneladas anuales de fosfoyesos que se depositan en balsas de almacenamiento anexas a la fábrica. En Huelva se genera el 2% de la producción mundial de fosfoyesos⁽¹⁰⁾.

La mayor parte de los fosfoyesos que se generan en el mundo se deposita en balsas de decantación, sin tratamiento, lo que puede representar una fuente potencial de contaminación medioambiental (suelos, agua y atmósfera)⁽¹⁸⁾. Existen por tanto grandes almacenamientos históricos de estos residuos, generalmente en zonas costeras y próximas a núcleos de población, debido a la ubicación de las plantas de producción de ácido fosfórico.

En España, durante los últimos 40 años, se han depositado alrededor de 120 Mt de fosfoyesos repartidos en unas 1200 Hectáreas en las marismas del Río Tinto, en el Estuario de Huelva. Esta situación ha creado un gran impacto visual paisajístico, por lo que resulta necesario una correcta gestión de los mismos con el fin, no solo de reducir las cantidades generadas sino también de aprovechar el potencial que tienen como material secundario⁽¹⁴⁾.

Según datos de 2010 de la US-EPA, en Estados Unidos desde la mitad de los años ochenta la producción de fosfoyesos se sitúa dentro de un rango de entre 40 y 47 millones de toneladas al año. La región de Florida Central es una de las mayores áreas productoras, estimándose que genera unos 32 millones de toneladas de fosfoyesos al año y, que posee cerca de 1000 millones de toneladas almacenadas⁽¹⁹⁾.

Según los datos recogidos en los Informes Anuales 2008 y 2009 de la empresa Fertiberia⁽¹¹⁾:

Las primeras estimaciones para la campaña agrícola 2007/08 de la Internacional Fertilizer Industry Association (IFA) indican un retroceso en el consumo de nutrientes a nivel mundial del orden del 1% respecto a la anterior campaña. Para la campaña agrícola 2008/09 el retroceso es del orden del 5% respecto a la anterior campaña. Esta disminución de la demanda de nutrientes supone un cambio de tendencia muy significativo ya que en los últimos años la tendencia al alza había sido

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 3.3	Mes: DICIEMBRE Año: 2010
FOSFOYESO		

una constante. El consumo de fósforo durante 2008 y 2009 experimentó un retroceso del 5% y del 7% respectivamente.

En España, diferentes causas, principalmente climatológicas y el precio de algunos productos agrarios, condicionaron que el consumo de fertilizantes experimentara una bajada sin precedentes del 27% durante el ejercicio 2008 con respecto a 2007. En este contexto, la demanda de abonos complejos y fosfatos amónicos experimentó un importante retroceso, traduciéndose en un menor consumo y en la disminución de un 25 % en la producción de ácido fosfórico con respecto a 2007.

La situación de crisis de demanda de fertilizantes y los precios, condicionaron la producción en 2009, siendo un 11 % menor con respecto al año anterior. Así mismo, durante 2009 se procedió al cierre, en la fábrica de Huelva, de dos de las cuatro líneas de producción de ácido fosfórico y, a la disminución por consiguiente del vertido de fosfoyesos a las balsas, en ejecución de las medidas impuestas por la Administración para la eliminación progresiva de dichos vertidos.

En la siguiente tabla se muestran las producciones, en toneladas, de ácido fosfórico alcanzadas durante los años 2007, 2008 y 2009:

	AÑO 2007	AÑO 2008	AÑO 2009
Ácido fosfórico	323.355	242.310	40.327

3. VALORIZACIÓN

La Directiva comunitaria 2008/98/CE de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos, define valorización como cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función, en la instalación o en la economía en general.

3.1.- PROPIEDADES ^(12, 13).

Las características de los fosfoyesos que se recogen a continuación corresponden a siete muestras procedentes de siete fábricas distintas de Florida (EE.UU).

Propiedades físicas

- Granulometría: los fosfoyesos se pueden considerar limos yesíferos, por el tamiz UNE 0.25 (ASTM 60) pasa más del 96%. El porcentaje de finos (% pasa por el tamiz UNE 0.08) está comprendido entre el 51 % y el 80%. Los tamaños inferiores a 0.01 mm, están en una proporción inferior al 10%. Según la clasificación AASHTO se corresponde con un suelo tipo A-4.
- La densidad del sólido varía entre 2,3 gr/cm³ y 2,4 gr/cm³.
- La permeabilidad sobre probetas compactadas con el Proctor modificado han dado

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 3.3	Mes: DICIEMBRE Año: 2010
FOSFOYESO		

resultados comprendidos entre $9,7 \times 10^{-5}$ y $1,5 \times 10^{-5}$ cm/seg y en el caso de muestras compactas con el Proctor normal las permeabilidades han variado entre $3,5 \times 10^{-5}$ y $4,6 \times 10^{-5}$ cm/seg.

Propiedades químicas

- El contenido en yeso en seis de las siete muestras está comprendido entre 81% y el 99%.
- El pH de las disoluciones varía entre 2,5 y 5,2.

Propiedades mecánicas

- En el ensayo Proctor modificado se han obtenido densidades entre 1,44 y 1,64 gr/cm³ para unas humedades óptimas comprendidas entre 18% y 14 % y con el Proctor Normal, en muestras de fosfoyesos dihidratados la densidad máxima es de 1.47 gr/cm³ para una humedad óptima de 17%.
- La resistencia a compresión simple en muestras preparadas por compactación bajo presión estáticas está comprendida entre 3,4 N/mm² y 12,4 N/mm², no habiéndose desmoronado las muestras al saturarse. Sin embargo, muestras preparadas bajo compactación dinámica, se desmoronan en la saturación, poniendo de manifiesto la sensibilidad de este material al agua.
- De los ensayos triaxiales realizados con presiones de confinamiento bajas: 0,7; 1,4 y 2,1 kg/cm² se ha obteniendo en todos los casos una cohesión nula, y ángulos de rozamiento comprendidos entre 43,5° y 50°.
- Según los resultados obtenidos en los ensayos de placa de carga dinámicos realizados sobre una capa de fosfoyeso de 27 cm de espesor, este material no se puede considerar adecuado para capas de base en carreteras.
- La resistencia a tracción determinada sobre probetas preparadas en las condiciones del Proctor Modificado, es aproximadamente un 10% de la resistencia a compresión. En probetas preparadas por compactación estática, la resistencia a tracción varía entre el 10% y el 18 % de la resistencia a compresión.

A continuación se recoge un resumen del estudio de una muestra de fosfoyesos procedente de Huelva, realizado en el CEDEX.

Propiedades físicas

- Granulometría: más del 85% del material pasa por el tamiz 0,08, por lo que se puede considerar un limo yesífero. Si se compara la granulometría del fosfoyeso de Huelva con la de los fosfoyesos de las siete fábricas de Florida, se observa que los fosfoyesos de Huelva son más finos, e incluso por el tamiz 0,08 pasa un porcentaje (88%) superior al de aquellos.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 3.3	Mes: DICIEMBRE Año: 2010
FOSFOYESO		

- Densidad: La densidad de las partículas de fosfoyeso de Huelva es de $\gamma = 2,36 \text{ gr/cm}^3$, siendo un valor intermedio entre las densidades de partículas obtenidas en las siete fábricas de Florida .
- Permeabilidad: se han realizado ensayos de permeabilidad sobre probetas preparadas con la densidad del ensayo Proctor Normal y con la densidad del ensayo Proctor Modificado. Con la densidad del ensayo Proctor Normal, el coeficiente de permeabilidad obtenido es de $k = 4,8 \times 10^{-5} \text{ cm/seg}$. Con la densidad del ensayo Proctor Modificado, se obtuvo un coeficiente de permeabilidad de $k = 2,3 \times 10^{-5}$, menor que el coeficiente obtenido con las muestras compactadas con la energía del Proctor Normal.

Propiedades químicas

- Composición química: en la siguiente tabla se muestran los elementos, resultado del análisis químico, cuyos contenidos en este tipo de material son superiores al 0,1% de peso en muestra. Los valores más altos corresponden a los componentes del yeso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, que son el $\text{CaO} + \text{SO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$, dando una proporción de yeso en los fosfoyesos de 93,6%. El resto está constituido fundamentalmente por los fosfatos ($\text{PO}_4^{3-} = 3\%$).

ELEMENTO	%
Al_2O_3	0,2
Ca O	32,0
Na^+	0,3
PO_4^{3-}	3,0
Si O ₂	1,0
F	0,6
Cl	0,4
SO_3	44,6
H_2O (del yeso)	17,8
TOTAL	99,9%

Tabla1: Elementos que aparecen en una proporción mayor del 0,1% en los fosfoyesos de Huelva

- Una característica interesante es el grado de acidez de los fosfoyesos, ya que el yeso aumenta su solubilidad en ambiente ácido. Los fosfoyesos de Huelva tienen un ambiente ácido $\text{pH} = 3,7$, que los sitúa en una posición intermedia entre los pH de las fábricas de Florida, pH entre 2,5 y 5,2.

Propiedades mecánicas

Las características de las muestras de los fosfoyesos compactadas se han determinado mediante la energía del Proctor Normal y la energía del Proctor Modificado.

- En el ensayo Proctor Normal realizado con la muestra de fosfoyeso, se ha obtenido la densidad máxima, $\gamma = 1,43 \text{ gr/cm}^3$ para una humedad óptima de $W = 19,1\%$. Si se comparan estos resultados con los obtenidos en las siete fábricas de Florida, los

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 3.3	Mes: DICIEMBRE Año: 2010
FOSFOYESO		

fosfoyesos de Huelva tienen unos valores de densidad máxima y humedad óptima, intermedios.

- Con la energía del ensayo Proctor Modificado, se ha conseguido una densidad máxima de $\gamma = 1,56 \text{ gr/cm}^3$ con una humedad óptima de $W = 16,9\%$. Si se comparan estos resultados con los obtenidos en las siete fábricas de Florida, los fosfoyesos de Huelva alcanzan una densidad máxima alta, solamente superada por los fosfatos de una de las fábricas, concretamente de la planta de Gardinier.

Además, con los fosfoyesos españoles en el ensayo Proctor Modificado se ha conseguido una densidad máxima más alta, para una humedad óptima mayor, de las que se consiguieron con los fosfoyesos de Florida para esta energía de compactación.

- De los ensayos de compresión simple realizados, dos sobre muestras preparadas con la energía del ensayo Proctor Normal y otras dos preparadas con la energía del ensayo Proctor Modificado, se ha conseguido una resistencia a compresión simple media de $q_u = 0,147 \text{ MPa}$ ($1,47 \text{ Kg/cm}^2$), en las muestras preparadas con la energía del ensayo Proctor Normal y, en las preparadas con la energía del ensayo Proctor Modificado, se ha conseguido una resistencia a compresión simple media de $q_u = 0,340 \text{ MPa}$ ($3,40 \text{ Kg/cm}^2$), ambas ensayadas con la humedad de preparación.
- Se realizaron cuatro ensayos de compresión triaxial: dos consolidados y no drenados, y otros dos consolidados y drenados. En cada pareja de ensayos, uno se hizo con muestra compactada con la energía del ensayo del Proctor Normal, y la otra con una muestra compactada con la energía del ensayo Proctor Modificado. De los resultados de los ensayos (tabla 2) se puede deducir que el ángulo de rozamiento está comprendido entre $\varphi = 48^\circ$ y $\varphi = 54^\circ$, correspondiendo el valor más alto, a la muestra con densidad más elevada $\gamma = 1,60 \text{ gr/cm}^3$. La cohesión también está comprendida entre $C = 0,040 \text{ MPa}$ y $C = 0,067 \text{ MPa}$. En los fosfoyesos de Florida el valor máximo alcanzado en el ángulo de rozamiento fue de $\varphi = 50^\circ$, con una cohesión nula.

TIPO ENSAYO	γ gr/cm ³	W% Inic.	C MPa	φ	Tensión rotura q_u MPa		
					$\sigma_s =$ 0,05	0,15	0,30 MPa
Consolidado, no drenado	1,41	20,8	0,060	48°	1,432	1,810	1,840
Consolidado, no drenado	1,57	16	0,040	48°	2,683	3,037	4,116
Consolidado, drenado	1,43	20,7	0,067	50°	0,494	0,158	2,081
Consolidado, drenado	1,60	14,6	0,050	54°	0,473	0,477	2,578

Tabla 2: Resultado de los ensayos de compresión Triaxial con fosfoyesos de Huelva

- Deformabilidad: se realizó un ensayo edométrico con una densidad $\gamma = 1,570 \text{ gr/cm}^3$ y contenido de humedad de $w = 13,5 \%$. Hasta una presión de $\sigma' = 147,19 \text{ Kpa}$, apenas se producen asientos diferidos, pero a partir de esta presión, los asientos diferidos aumentan así como el tiempo necesario para su estabilización. Al aumentar la carga a $\sigma' = 294,30 \text{ Kpa}$ se aprecia este incremento brusco de asientos. La deformación unitaria, ϵ , producida hasta alcanzar la carga de $\sigma' = 294,30 \text{ Kpa}$, fue del 4%.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 3.3	Mes: DICIEMBRE Año: 2010
FOSFOYESO		

3.2.- PROCESAMIENTO

El fosfoyeso es el subproducto obtenido directamente en la producción de ácido fosfórico sin procesamiento.

3.3. APLICACIONES

La tecnología para la utilización del fosfoyeso se ha desarrollado principalmente en países con escasos recursos naturales de yeso o escasas zonas de almacenamiento para el residuo. Japón y Austria reutilizan prácticamente el 100% del fosfoyeso. En esta reutilización es muy importante la proximidad de las industrias en donde se produzca el reproceso debido a la influencia negativa de los costes de transporte.

En general, se estima que tan solo el 15% de la producción mundial de fosfoyesos se utilizan en agricultura, en tableros de yeso y en la industria del cemento⁽¹⁸⁾. Las aplicaciones del fosfoyeso que se están empleando a nivel mundial son las siguientes:

- El 70% del fosfoyeso reprocesado, se utiliza en la fabricación de tableros de yeso. En este caso es necesario eliminar la mayoría de las impurezas solubles del fosfoyeso, ya que una pequeña cantidad de ellas afecta de manera significativa al tiempo de fraguado y a la resistencia del yeso.
- El 19% del fosfoyeso reprocesado, se utiliza en la fabricación del cemento, si bien es necesario eliminar las impurezas orgánicas, como los fosfatos, que afectan a la calidad del cemento, en particular al tiempo de fraguado y de endurecimiento. La eliminación de las impurezas se consigue a través de modificaciones de los procesos de fabricación de ácido fosfórico y procesos de limpieza suplementarios. Añadiendo entre 3% y 5% de fosfoyeso reprocesado se retrasa el tiempo de fraguado del cemento, contrarresta la retracción, proporciona un amplio desarrollo de la resistencia inicial y alta resistencia a largo plazo⁽⁹⁾.
- El 7% del fosfoyeso reprocesado se utiliza en la agricultura como nutriente, de las siguientes formas:
 - Para la recuperación de suelos salinos;
 - Para el tratamiento de suelos ácidos;
 - Para mejorar la infiltración de agua;
 - Para reducir la costra en suelos meteorizados.
- Un porcentaje muy bajo, próximo al 3% de fosfoyeso, se utilizó en la recuperación de azufre, pero actualmente no existe ningún proceso de recuperación en funcionamiento.
- De manera experimental se ha utilizado el fosfoyeso en diferentes unidades de obra en carreteras.

En el pasado, en Estados Unidos el fosfoyeso se incorporaba en la mezcla de cemento Portland para su uso en construcción de carreteras. Actualmente, el empleo de fosfoyesos para tales propósitos está prohibido bajo la resolución final de la Agencia de Protección Ambiental, editada en junio de 1992, que enmienda la 40 CFR 62 Subparte R. En general la US-EPA limita el empleo de fosfoyeso que contenga concentraciones de ²²⁶Ra superiores a 370 Bq.Kg⁻¹. Actualmente las aplicaciones aprobadas que empleen fosfoyesos, consumen una cantidad anual aproximada de

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 3.3	Mes: DICIEMBRE Año: 2010
FOSFOYESO		

500.000 toneladas. Dada la enorme cantidad anual producida de fosfoyeso en Estados Unidos, más de 40 millones de toneladas, y en respuesta a la necesidad de encontrar nuevas vías de emplear este material, la US-EPA ha creado un proceso mediante el cual investigadores pueden solicitar la aprobación por parte de la Agencia de nuevos usos del fosfoyeso⁽¹⁹⁾.

En España, se le ha dado una aplicación alternativa en la agricultura como corrector de suelos salinos-sódicos en el suroeste español, aunque en cantidades no superior al 10% de la producción anual de fosfoyeso. El uso de fosfoyeso con este propósito se encuentra explícitamente autorizado en la legislación española (Real Decreto 84/2005, julio 2005)⁽¹⁴⁾.

En cuanto a la búsqueda de posibles usos y aprovechamiento en España, el grupo MAR (Medio Ambiente y Reciclado, <http://www.medioambienteyleciclado.com/index.php>), está llevando a cabo proyectos de investigación en este sentido.

Otra posible aplicación sería su empleo como material de cubierta en vertederos. El fosfoyeso podría acelerar el proceso de biodegradación de los residuos sólidos urbanos (RSU) lo que alargaría la vida útil del vertedero⁽²⁰⁾.

En el campo de la construcción uno de los posibles usos que se le podría dar sería su empleo en el núcleo de terraplenes en obras lineales.

3.3.1.- Empleo de los fosfoyesos como material para terraplenes^(12, 13)

3.3.1.1.- Características y clasificación de los fosfoyesos como materiales para terraplenes

La clasificación de los fosfoyesos como materiales para terraplenes, se realiza comparando sus características con las características exigidas a estos materiales según la clasificación recogida en las especificaciones del nuevo PG-3.

El contenido en finos de los fosfoyesos, material que pasa por el tamiz 0,063, es superior al 80%, son suelos no plásticos, con un contenido en materia orgánica menor del 2%, pero con un contenido en yeso superior al 5% y con un hinchamiento inferior al 5%. Con estas características podrían considerarse como materiales marginales, pero teniendo en cuenta su contenido en yeso, de 93,6% superior al 20%, hay que tener en cuenta lo que dice el artículo 330 del PG3 referente a suelos con yesos.

Cuando el suelo tiene un contenido en yeso entre el 5 y el 20%, su utilización se limita al núcleo del terraplén y siempre que se tomen una serie de medidas para evitar la disolución con posible producción de asientos o pérdida de resistencia.

Cuando el suelo tiene un contenido en yeso mayor del 20%, no debe utilizarse en ninguna zona del relleno. Su uso se limitará a aquellos casos en que no existan otros suelos disponibles y siempre que el mismo venga contemplado y convenientemente justificado en el Proyecto.

Por tanto, los fosfoyesos se deben clasificar dentro de éste último grupo, y su colocación como relleno se podrá realizar bajo el caso obligatorio de disminuir los almacenamientos de este material en unos lugares concretos, por condiciones medio ambientales.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 3.3	Mes: DICIEMBRE Año: 2010
FOSFOYESO		

Para admitir la colocación de los fosfoyesos en el núcleo de los rellenos de carreteras, tendrá que garantizarse que no va a penetrar el agua y que la deformación a largo plazo no va a presentar problemas. La protección frente a la penetración del agua se puede conseguir ejecutando el cimientado, espaldones y coronación del terraplén, con suelos bien graduados que al compactarse garanticen esta impermeabilidad. Además, el núcleo de fosfoyeso debe ser suficientemente compacto para evitar que pueda penetrar el agua hacia su interior, disolver los sulfatos u otros minerales, y provocar inestabilidad en el propio relleno, además de contaminar las aguas del entorno. Como una protección añadida, se debe elevar el pH de los rellenos de fosfoyesos, normalmente en torno a pH = 3,5, para situarlo por encima de pH = 5, con lo cual se mantiene baja la solubilidad del sulfato cálcico dihidrato que constituye la mayor parte de los fosfoyesos. Para elevar el pH, se recomienda la mezcla con cal.

3.3.1.2. Comportamiento de terraplenes experimentales en fosfoyesos en Francia^(15, 16)

En el año 1977 se construyeron dos terraplenes de 2 m de altura en Thamenier y en Rouen. La ejecución de estos terraplenes con fosfoyesos se realizó compactando tongadas de 0,30 m de espesor, con numerosas pasadas de eficaces compactadores vibrantes. El coste de la compactación de este relleno fue el triple de lo que cuesta compactar un suelo natural.

En el año 1983 se construyó un terraplén de 3,50 m de altura en el Centro de Experimentación de Carreteras de Rouen, en las condiciones con las que se había construido el terraplén de 2 m de altura. Además, en un tramo del terraplén, el relleno se hizo tipo sándwich, alternando una capa de suelo de permeabilidad media con una capa de fosfoyeso. Para controlar la fisuración, se interpuso un geotextil entre la penúltima y la última tongada. A los taludes se les dio una pendiente de 45° en un tramo, y de 60° en otro tramo. Se hizo un seguimiento de este relleno durante tres años, del que se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Aparecieron fisuras muy finas en la capa superior de fosfoyesos, que no afectaron a la capa de rodadura
- La deformación lateral de los taludes del relleno fue de solamente algunos milímetros, no planteando problemas de estabilidad.
- Los asientos en el tramo de terraplén con capas en sándwich eran más pequeños que en el tramo en donde todas las capas eran de fosfoyeso. En el tramo de fosfoyesos, los asientos extrapolados a 10 años alcanzaban los 9 cm, (2,5% de su altura), pero uniformes, con asientos diferenciales muy pequeños, debido probablemente a la cuidada compactación de los bordes del relleno.
- El comportamiento de este relleno de 3,5 m de altura se consideró adecuado, pero debido a su elevado asiento, no se permitió su ejecución en las proximidades de las obras de fábrica.

En el año 1990 se estudió el comportamiento de un terraplén experimental de 100 m de longitud, construido en Havre, con un tramo de 5m de altura y otro tramo de 8m de altura, y con una pendiente en los taludes de 1:1 (45°).

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 3.3	Mes: DICIEMBRE Año: 2010
FOSFOYESO		

Las condiciones constructivas particulares fueron las siguientes:

- El cimiento del terraplén está constituido por una capa de grava limpia de 0,30 m de espesor.
- La humedad de puesta en obra del fosfoyeso fue del 17%, que corresponde a 0,9 W_{opt} del PN.
- El terraplén se compactó en tongadas de 0,25 m de espesor, con 10 pasadas de compactadora V4 a 2,5 Km/h.

Los movimientos se controlaron topográficamente, no detectándose deformación lateral del terraplén. En el tramo de terraplén de 5 m, de altura se produjeron asientos de 5 a 7 cm (1 a 1,4%) durante el primer año y, 0 cm durante el segundo año. En el tramo de terraplén de 8 m de altura, durante el primer año se registraron 12 cm de asiento (1,5%) y, 0 cm en el segundo año. En cuanto a la erosión de los taludes, sólo se detectaron pequeños surcos, por lo que se consideró satisfactorio el comportamiento de los fosfoyesos compactados, frente a la erosión.

3.3.1.3. Recomendaciones para la utilización de los fosfoyesos de Huelva en rellenos

De acuerdo con las especificaciones del PG-3 y los resultados de los ensayos de laboratorio sobre los fosfoyesos de Huelva, en particular la densidad máxima obtenida en los ensayos Proctor, el ángulo de rozamiento obtenido mediante los ensayos triaxiales, y la deformabilidad obtenida mediante los ensayos edométricos, y teniendo en cuenta los resultados de los terraplenes experimentales ejecutados en Francia, se pueden dar algunas recomendaciones para el empleo de los fosfoyesos de Huelva:

- Los fosfoyesos se pueden utilizar solamente en el núcleo del relleno. Las paredes laterales de este núcleo tendrán una pendiente 1:1. El relleno debe de estar situado por encima del nivel de agua debido a avenidas. La altura de la zona de cimentación del terraplén debe ser suficiente para que la posible agua acumulada al pie del terraplén no alcance la base del relleno de fosfoyeso.
- Entre el núcleo de fosfoyeso y la zona de cimentación del relleno, se colocará una capa granular de grava limpia, de 30 cm de espesor, que corte la posible subida de agua capilar desde el terreno en el que se apoya el relleno.
- Los espaldones del relleno, deben tener un ancho mínimo de 2m, ser suficientemente impermeables, protegidos de la erosión superficial, y con una pendiente 3H:2V.
- El relleno de fosfoyeso debe tener como máximo una altura de 2 m.
- La altura de la zona de transición, la coronación y las otras capas del firme, situadas por encima del núcleo de fosfoyeso, no debe ser superior a 2 m.
- La densidad alcanzada con el relleno de fosfoyeso deberá ser superior al 95% de la obtenida en el ensayo Proctor Modificado.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 3.3	Mes: DICIEMBRE Año: 2010
FOSFOYESO		

- La humedad de puesta en obra estará comprendida entre -2% y +1% de la óptima del Proctor Modificado. El período de construcción más adecuado será en los meses secos, normalmente de Mayo a Diciembre.
- Para fijar las condiciones de puesta en obra, se deben realizar tongadas de ensayo al comienzo de la ejecución del relleno de fosfoyeso. Una primera aproximación podría ser ejecutando tongadas de 0,25 m de espesor con 10 pasadas de compactadora.
- Debido a la deformabilidad del relleno, y al alto contenido en sulfato, no se deben construir rellenos de fosfoyesos en las proximidades de las obras de fábrica, en particular en las zonas de transición.
- El pH del fosfoyeso cuando se coloca en obra, debe ser igual o mayor que pH = 5. Para ello se estabilizará con cal.

3.4. OBRAS REALIZADAS

En España no se utiliza el fosfoyeso en ninguna aplicación. El residuo que se genera en España está almacenado en balsas de almacenamiento próximas a la empresa en Huelva.

4.-CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES

La Ley 10/1998, de Residuos, de 21 de abril, establecía en su artículo 3 que tendrían consideración de residuos todos aquellos que figurasen en el Catálogo Europeo de Residuos (CER). Este Catálogo fue aprobado por la Decisión 94/3/CE de 20 de diciembre de 1993, y complementado con la Decisión 94/904/CE, ambas aprobadas en el Real Decreto 952/1997.

Las Decisiones Comunitarias 94/3/CE y 94/904/CE han sido derogadas por la Decisión 2000/532/CE mediante la que se aprueba La Lista Europea de Residuos. La orden MAM/304/2002 de 8 de febrero (con corrección de errores de 12 de marzo), publica en su Anejo 2 la mencionada Lista Europea de Residuos.

Los fosfoyesos vienen incluidos en la Lista Europea de Residuos en el Capítulo 06 correspondiente a "Residuos de procesos químicos inorgánicos", en subapartado 06 09 correspondiente a "Residuos de la fabricación, formulación, distribución y utilización de productos químicos que contienen fósforo y de procesos químicos del fósforo".

Según comunicado de la empresa que produce los fosfoyesos en España, la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía certificó que el fosfoyeso que se fabrica en Huelva no es un residuo peligroso.

De acuerdo con estas premisas, los fosfoyesos se pueden clasificar con:

- código 06 09 04: Residuos cálcicos de reacción distintos de los mencionados en el código 06 09 03.

El principal peligro medioambiental del fosfoyeso, como el de las rocas yesíferas, para su utilización en obras de carretera, es el derivado de su solubilidad, y la posibilidad que presenta de contaminación de las aguas subterráneas por infiltración. La radiactividad del fosfoyeso es muy baja.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 3.3	Mes: DICIEMBRE Año: 2010
FOSFOYESO		

La Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía ha elaborado el “Plan de Calidad Ambiental de Huelva y su Entorno 2010-2015”, en el que se recoge, además de las acciones ya iniciadas, una serie de programas con nuevas actuaciones que deberán llevarse a cabo, entre las que se encuentra la clausura y restauración de las balsas de fosfoyesos. Entre los años 1999 y 2006 el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) realizó diversos estudios para el diagnóstico ambiental de la zona, con la participación además de Universidades andaluzas y Organismos Públicos de Investigación, estos estudios servirían como base para la elaboración del Plan de Calidad Ambiental de Huelva y su Entorno⁽²¹⁾.

5. NORMATIVA TÉCNICA

No existe ninguna normativa técnica referente a fosfoyeso si bien se incluye a continuación la normativa técnica española referente al yeso:

- UNE 102.001:1986 Aljez o piedra de yeso. Clasificación. Características.
- UNE-EN 13279-1:2009 Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones.
- UNE-EN 12859:2009 Paneles de yeso. Definiciones y métodos de ensayo.
- UNE-EN 520:2005+A1:2010 Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.
- UNE-EN 13279-2:2006 Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.
- UNE 102.032:1984 Yesos y escayolas de construcción. Métodos de análisis químico.
- UNE-EN 520:2005+A1:2010 Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.
- NTE-RPG-1974 Norma Tecnológica de la Edificación. Revestimientos de paredes: Guarnecidos y enlucidos.
- NTE-PTP-1975 Norma Tecnológica de la Edificación. Particiones: Tabiques de placas y paneles.

6. REFERENCIAS

- [1] ANDERSON, NEIL R., “ Gypsum Aggregate - A Viable Commercial Venture”, Proceedings of the Second International Symposium on Phosphogypsum, Volume II. The Florida Institute of Phosphate Research, January, 1988. pp. 329-352.
- [2] CARMICHAEL, JACK B., “Utilization of the Phosphogypsum Produced in the Fertilizer Industry”. Vienna: United Nations Industrial Development Organization, May, 1985. pp. 63.
- [3] ERLNSTADT, GUNTER, “ Upgrading of Phosphogypsum for the Constrution Industry”. Proceedings of the International Symposium on Phosphogypsum. The Florida Institute of Phosphate Research, November, 1980. pp. 284-293.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 3.3	Mes: DICIEMBRE Año: 2010
FOSFOYESO		

- [4] HO, ROBERTK. H. AND ZIMPFER,(May, 1985). "Comments on the Investigation of Phosphogypsum for Embankment Construction". Proceeding of the Second Workshop on By-Products of Phosphate Industries. The Florida Institute of Phosphate Research, May, 1985. pp. 182-213.
- [5] LIN K., FIGUEROA, J. L. AND CHANG, WEN,(May, 1985). "Engineering Properties of Phosphogypsum". Proceeding of the Second Workshop on By-Products of Phosphate Industries. The Florida Institute of Phosphate Research, May, 1985. pp. 49-59.
- [6] SAYLAK D., GADALLA, A., AND YUNG C., "Neutralization and Stabilization of Phosphogypsum for Road Constrution." Proceedings of the Third Wokshop on By-Products of Phosphate Industries. The Florida Institute of Phosphate Research, November, 1986. pp. 315-338.
- [7] WU, XIADONG, " A Study of the Radiation Problems Associated with Phosphogypsum Based Building Materials." Master`s Thesis, University of Miami, Coral Gables, Florida, July 1988. pp. 87.
- [8] WEN F. CHANG, Ph. D., P.E. "Engineering propierties and construction applications of phosphogypsum." University of Miami, Florida, 1999.
- [9] CEDEX. Informe "Utilización de los fosfoyesos en rellenos de obra. Estado del arte", para la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente. Marzo 2008.
- [10] [Romero García, R. E.](#) "Fosfoyesos de Huelva: ni son residuos ni son radiactivos". Libro. Ed.: Principia Creativos y Comunicación. 136p. 2009.
- [11] Informe anual 2008 y 2009 de Fertiberia:
http://www.fertiberia.es/imagenes/Archivos/HUELVA_ESP.pdf
<http://www.fertiberia.es/imagenes/Archivos/FERTIBERIA%20INFORME%20ANUAL%202009%20ESP.pdf>
<http://www.fertiberia.es/imagenes/Archivos/FERTIBERIA%20INFORME%20ANUAL%202008%20ESP.pdf>
- [12] CEDEX. Informe no publicado "Utilización de los fosfoyesos en rellenos de obra. Condiciones para la utilización de los fosfoyesos en terraplenes", para la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente. Diciembre 2008.
- [13] DAPENA GARCÍA, E.; PARDO DE SANTAYANA, F.; DÍAZ FLORES, E. "Characteristics of phophogypsum for utisation in roadwork fills", Laboratorio de Geotecnia, CEDEX. 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Egipto 2009. pp. 116-119.
- [14] BOLIVAR, J.P.; GARCÍA-TENORIO, R. "Residuos producidos por industrias NORM: impacto radiológico y gestión" XI Congreso Nacional de la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR). Tarragona 2007.
- [15] FEVRE, M. et QUIBEL, M., "Utilisation des Gypses Residuaires en Terrassements". Ecole Nationale des Ponts et Chaussees. 1998.

FICHA TÉCNICA	CLAVE: 3.3	Mes: DICIEMBRE Año: 2010
FOSFOYESO		

- [16] QUIBEL, M., 1998, Experimentation de L'Utilisation en Remblais Routiers du Gypse de Synthèse Thann et Mulhouse (Le Havre) Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (24 an 26 mars 1998).
- [17] BOLIVAR, J.P.; GARCÍA-TENORIO, R.; MATARRANZ, J.L. "Evaluación radiológica del apilamiento de fosfoyesos de las marismas del río Tinto (Huelva)". Alfa, Revista de seguridad nuclear y protección radiológica, editada por el CSN. Nº 1, I trimestre de 2008. p. 39-45.
- [18] TAYIBI, H.; GASCÓ, C.; NAVARRO, N.; LÓPEZ-DELAGADO, F.J.; LÓPEZ, F.A. "The radiological impact and restrictions on phosphogypsum waste applications". 1st Spanish Conference on Advances in Materials Recycling and Eco-Energy. Madrid 2009. p. 71-74.
- [19] Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos: <http://www.epa.gov/>
- [20] GÁZQUEZ, M.J., BOLÍVAR, J.P., GARCÍA-TENORIO, R., GALÁN, F. "Natural occurring radionuclide waste in Spain: the Huelva phosphogypsum stacks case". 1st Spanish Conference on Advances in Materials Recycling and Eco-Energy. Madrid 2009. pp. 75-78.
- [21] Junta de Andalucía. Plan de Calidad Ambiental de Huelva y su Entorno 2010-2015: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/planificacion_ambiental/Planes/Prevencion_y_calidad_ambiental/plan_calidad_huelva_2010_15/documento_pcahe2010_2015.pdf

7. ENTIDADES DE CONTACTO

- FERTIBERIA, S.A.

Torre Espacio
Paseo de la Castellana, 259-D. Planta 48
28046-Madrid
Tel.: 91 586 62 00
Fax: 91 586 62 22
E-mail: fertiberia@fertiberia.es
www.fertiberia.es

- Fábrica de HUELVA

Avda. Francisco Montenegro, s/n
21001-HUELVA
Tel.: 959 28 12 11
Fax: 959 26 36 04

- Consejerías de Medio Ambiente por Comunidades Autónomas
http://www.i19.es/index_archivos/Page1239.htm

Información sobre la absorción de SO_x y NO_x por plantas

Los contaminantes en los que nos centramos son:

- Azufre: en forma de SO_x, y particularmente, en forma de SO₂.
- Nitrógeno: en forma de NO y NO₂.

Ambos contaminantes son famosos por poder provocar enfermedades respiratorias y lluvia ácida.

Azufre

Los óxidos de azufre los encontramos como producto del refinado del petróleo, limpieza del gas natural y, más importante aún en los que nos compete, las combustiones de los motores en las ciudades.

El derivado del azufre que más vamos a encontrar es SO₂.

- Si el combustible tiene S, como el carbón o el diésel, se va a oxidar dando lugar a SO₂.
- Si el combustible tiene SH₂, en presencia de oxígeno va a dar S, y este a su vez SO₂.

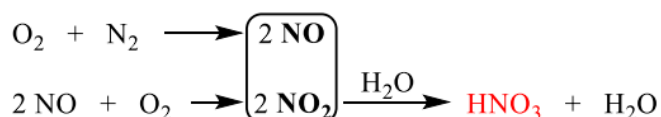
En este [enlace](#) hay un artículo sobre un experimento que se hizo en 1949. El experimento se hizo con **alfalfas**, en una atmósfera con una concentración continua de SO₂. La contaminación artificial que se les dio en la atmósfera con SO₂ fue suficiente para no tener que darles abonos con azufre.

Sin embargo, los SO_x y en particular el SO₂ puede provocar [daños a las plantas cuando se absorben más rápido de lo que se detoxifica](#). Lo que ocurre aquí es que el SO₂ se transforma en sulfito y sulfato al oxidarse. Este último, en pequeñas dosis, es una ayuda para el crecimiento de la planta, pero en altas es venenoso.

Hay otro [experimento](#) en el que se observa que las **petunias** absorben SO₂, NO₂ y ozono (este último mayoritariamente en las plantas con más edad).

Nitrógeno

Nos centramos en los NO_x más importantes (NO y NO₂), que los encontramos también como producto de la quema de combustibles fósiles. Pueden provocar lluvia ácida.



El **girasol** absorbe NO₂ como se puede ver en este [artículo](#). Se ve cierta influencia del nitrato del abono:

- Las plantas abonadas ya tienen nitrógeno, y por lo tanto el NO₂ actuaba como veneno.
- En las plantas no abonadas, el NO₂ actuó como nutriente.

De este [artículo](#) encuentro el árbol **Alnus Glutinosa**, que quita NO.

Fitoglobinas

Son las proteínas vegetales que metabolizan el NO en presencia de oxígeno. Son las encargadas del último proceso explicado, como se puede ver en el artículo.

DETERMINACIONES

1. Métodos analíticos.

A continuación, se describen de forma breve las técnicas analíticas usadas (APHA, 1998). Para el análisis de los procesos se han determinado cada uno de los factores que se indican a continuación. Dichos factores son los que se han considerado variables clave para el seguimiento y chequeo del proceso.

1.1. Determinación del pH

La determinación electrométrica del pH se basa en la medida de la actividad de los iones de H⁺ por mediciones potenciométricas utilizando, un electrodo indicador de vidrio y tampones de pH 4 y 7.

Un pH elevado indica una baja concentración de iones H⁺, y por tanto un medio alcalino. Por el contrario, un pH bajo indica la acidificación del medio. Dado que los principales microorganismos involucrados en este proceso trabajan de forma óptima en un rango de pH de 7-8, éste debe mantenerse cercano a la neutralidad.

Se ha utilizado un pH-metro CRISON GLP 21+ que contiene una sonda portátil CRISON (5200T), el calibrado se realiza diariamente con dos tampones.

1.2. Determinación de la conductividad eléctrica (CE)

La conductividad es una medida de la propiedad que poseen los iones presentes en disolución acuosa para producir corriente eléctrica. La conductividad que varía en función de la temperatura, está estrechamente ligada a la concentración de sustancias disueltas y a su naturaleza.

Las sales minerales (sustancias inorgánicas, ácidos, bases) son en general, buenas conductoras. Por el contrario, los compuestos orgánicos que no están disociados tienen escasa conductividad. La conductividad eléctrica de las aguas superficiales suele encontrarse en el intervalo entre 200 y 1.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, mientras que las aguas subterráneas presentan valores algo mayores, ente 500 y 1.500 $\mu\text{S cm}^{-1}$. El intervalo de conductividad para las aguas residuales urbanas oscila entre 1 y 4 mS cm^{-1} .

La CE se determina utilizando un equipo multiparamétrico Eutech, modelo PCD 650, con sonda de cuatro células en vidrio-platino, que permite tomar medidas de la conductividad, resistividad, salinidad y sólidos disueltos totales.

Presenta una precisión de $\pm 0,08 \text{ mS cm}^{-1}$.

Los resultados se expresan como mS cm^{-1} .

La calibración de este electrodo se realiza diariamente con un patrón.

1.3. Sólidos Totales (ST): Sólidos totales fijos (STF) y Sólidos totales Volátiles (STV). (APHA, 1998).

Es la característica física más importante del agua residual. El término engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Es un parámetro bastante importante en el control de procesos físicos y biológicos.

El contenido en materia sólida del agua residual está formado por varias fracciones que engloban tanto los sólidos orgánicos como inorgánicos.

Con la medida de los sólidos totales fijos y volátiles, es posible determinar la cantidad de materia sólida inerte y la cantidad de materia orgánica o biomasa existente en la muestra.

Equipos necesarios: Balanza analítica, estufa y mufla

Material: Cápsula, espátula y pipeta aforada

Previamente, se debe preparar la cápsula donde se va a proceder al análisis de la muestra. Si en la medición se pretende analizar SV, se debe incinerar la capsula a $550 \pm 50^\circ\text{C}$ durante al menos 1 hora en una mufla. Si por lo contrario, solamente se pretende hacer el análisis de los ST, se debe calentar la cápsula a $103\text{-}105^\circ\text{C}$ durante al menos 1 hora en una estufa. Después de preparar la cápsula, se debe conservar en un desecador y pesar inmediatamente antes de usar. Primero se realizan los sólidos totales y después de pesarlo, se llevan a la mufla y se obtienen así los volátiles.

Para realizar el análisis de los Sólidos totales se vierten 25 mililitros en una cápsula, la cual se ha pesado con antelación. Posteriormente, se introduce en la estufa durante 24 horas. Transcurridas las 24 horas, se debe dejar en el desecador hasta peso constante.

Para determinar los sólidos volátiles, la misma muestra con la que se han determinado los sólidos totales se introduce en la mufla a 550°C durante 20 minutos. Se lleva la cápsula o crisol a desecador hasta peso contante.

$$ST = \frac{(B-A)}{V*1000} \quad SV = \frac{(B-C)}{V*1000}$$

Siendo:

ST: Sólidos totales (g.L^{-1}).

SV: Sólidos volátiles (g.L^{-1}).

A: Tara de la cápsula vacía (g).

B: Peso de cápsula + muestra tras 24 horas a 105 °C.

C: Peso de cápsula + muestra tras 20 minutos a 550 °C.

V: Volumen de muestra (L).

1.4. Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) según la norma UNE 77004:2002.

La DQO representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar por vía química la totalidad de la materia orgánica. El requerimiento de oxígeno químico, se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte. Para las muestras de una fuente específica, la DQO puede relacionarse empíricamente con la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días (DBO_5). La prueba es útil para monitorizar y controlar después de haber establecido la correlación. Se prefiere el método del reflujo dicromato a los procedimientos que utilizan otros oxidantes debido a su mayor capacidad oxidante, a su aplicabilidad, a una mayor variedad de muestras y a su fácil manipulación. La oxidación de la mayoría de compuestos orgánicos es del 95 al 100 por 100 del valor teórico. La piridina y los compuestos relacionados con ella resisten a la oxidación, y los compuestos orgánicos volátiles solo son oxidados en la medida en que permanecen en contacto con el oxidante. El amoníaco, presente en la materia orgánica que contiene nitrógeno, o liberado desde ella, no es oxidado en ausencia de una concentración significativa de iones cloruro libres. El contenido en cloruros no debe superar los 1.000 mgL^{-1} .

La DQO representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar por vía química la totalidad de la materia orgánica.

La DQO se determina titulométricamente por la oxidación con dicromato potásico, según el método de reflujo cerrado.

Se realiza la dilución de la muestra y se procede a tomar 5 mililitros, introduciéndolo en un tubo de ensayo, a continuación, se añaden 3 mL de disolución de digestión de dicromato potásico 0,066 N y 7 mL de reactivo ácido sulfúrico de plata (catalizador) de forma que se cree una capa de ácido debajo de la disolución de digestión de la muestra. Se debe tener mucho cuidado ya que se produce una reacción fuertemente exotérmica, por lo que el tubo se calienta al añadir los reactivos.

Colocar los tubos en el termoreactor, previamente calentado, a 150 °C y mantener la digestión durante 2 horas.

Una vez transcurridas las dos horas, se enfría a temperatura ambiente. Una vez enfriadas las muestras, se procederá a su valoración y para ello, se abre el tubo, se añaden tres gotas de indicador de ferroína, un imán de agitación y se valora con una disolución sulfato de hierro y amonio (sal de Möhr, 0,025 N). El punto final de la valoración se observa con un marcado cambio de color de azul verdoso a marrón rojizo, aunque el azul verdoso puede volver a aparecer pasados unos minutos.

La disolución sal de Möhr debe ser estandarizada a diario frente a una disolución patrón de dicromato potásico de la siguiente forma: tomar 5 mL de agua destilada en un tubo de ensayo, añadiéndose los reactivos en las cantidades especificadas anteriormente.

El volumen obtenido en la valoración con la sal de Möhr se introduce en la siguiente fórmula para calcular el dato de DQO. Se expresan en mg de O₂, necesarios para oxidar un litro de muestra (mgL⁻¹).

$$DQO \text{ en } mg \text{ O}_2 = \frac{((A - B) * M * 8000 * Fd)}{mL \text{ muestra}}$$

Donde,

A: Volumen de sal de Möhr utilizados para el Blanco

B: Volumen de sal de Möhr obtenido en la valoración de la muestra

M: La molaridad de la sal de Möhr

8000: La constante de equivalencia

mL de muestra: Volumen de muestra analizada.

Fd: Factor de dilución

1.5. Determinación de Fósforo

Instrucciones para la evaluación de Fósforo con el pack Hach-Lange LCK 350 (2-20 mg/l PO₄-P ortofosfatos y 6-60 mg/L PO₄ fósforo total):

- 1) Quitar el cierre de seguridad del tapón del tubo
- 2) Desenroscar el tapón de la cubeta
- 3) Pipetear 0,4 mL de la muestra a analizar
- 4) Agitar y homogenizar.
- 6) Calentar en el termostato 30 min a 120 °C

- 7) Dejar enfriar y pipetear 0,5 mL de la solución B.
- 8) Poner el tapón Dosicap C gris en la cubeta, agitar y dejar en reposo 10 min
- 9) Evaluar en el espectrofotómetro DR3900 de Hach.

1.6. Determinación de Nitrógeno:

Instrucciones para la evaluación de Nitrógeno con el pack Hach-Lange LCK 238 (5-40 mg/L TN_b Nitrógeno total):

- 1) Dosificar en un tubo de reacción seco:
 - 0,5 mL de nuestra muestra
 - 2 mL de solución A
 - 1 pastilla B
- 2) Llevar el tubo cerrado a un termobloque a 120 °C durante 30 min.
- 3) Enfriar a temperatura ambiente y agitar
- 4) Pipetear lentamente en la cubeta-test 0,5 mL de la muestra anterior pasada por digestión.
- 6) Pipetear lentamente 0,2 mL de la solución D y agitar.
- 7) Transcurridos 15 min realizar la evaluación en el espectrofotómetro DR3900 de Hach.

El mayor caso de contaminación industrial de Europa: los vertidos de fosfoyesos a las marismas del río Tinto, Huelva.

Enero de 2011

Historia de un desastre

La empresa Fertiberia obtuvo una concesión administrativa para el vertido de sus residuos en 1968. Desde entonces empezó a verter a la marisma del Tinto y a los cauces. A día de hoy, unos 120 millones de toneladas de fosfoyesos, un residuo industrial tóxico y radiactivo, se acumulan a escasos 500 metros de las barriadas de Pérez Cubillas y Los Rosales, en la ciudad de Huelva.

En diciembre de 1995 la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía autorizó la "reordenación de vertidos" para reducir al máximo la contaminación de la ría de Huelva que había alcanzado importantes niveles por el escaso control de la Administración. Según el plan, Foret debía dejar de verter fosfoyesos y no se podían ocupar nuevas superficies de marisma virgen para depositar más residuos, sino que debían depositarse sobre las ya degradadas. Los depósitos en altura se seguían permitiendo, pero obligando a las empresas a la recuperación de los terrenos mediante su "revegetación". Además, el agua utilizada en la suspensión del fosfoyeso no debía volver a la ría, algo que se ha producido constantemente.

El 31 de diciembre de 1998 se rompe una de las balsas de fosfoyesos "reordenadas" vertiendo al río Tinto, según las cifras oficiales, 50.000 metros cúbicos de aguas ácidas, metales pesados y otros tóxicos como fluoruros, fosfatos y arsénico. Asimismo, aumentó la radiactividad en la ría¹. Esta liberación de sustancias contaminantes afectó al medio natural fluvial y marino, y a la salud de las personas por la incorporación de estos tóxicos a la cadena alimenticia. Curiosamente, y a diferencia del vertido de Aznalcóllar, poco se supo fuera de la provincia.

¿Cuál es la situación actual?

Actualmente el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino ha establecido un plan para recuperar las marismas contaminadas que consiste en mantener confinados los fosfoyesos. Para Ecologistas en Acción, Greenpeace y WWF es necesario descontaminar correctamente la zona y establecer un sistema permanente de vigilancia en tiempo real sobre la contaminación del suelo, el aire y el agua, accesible al público. Por ello, la solución que propone la Junta y la empresa de cubrir los residuos está totalmente desaconsejada y supone la peor de las alternativas posibles en cuanto a restauración. Esta medida ya se realizó hace años en parte de la zona de vertido y poco después se ha demostrado que ha resultado inútil, ya que no sirve para aislar del agua y la erosión a los fosfoyesos, que siguen vertiéndose a la ría del Tinto.

¿Qué son los fosfoyesos?

Se trata de un residuo industrial resultante de la fabricación de ácido fosfórico por vía húmeda, para la producción, principalmente, de abonos agrícolas. El proceso se realiza mezclando el mineral (roca sedimentaria denominada "fosforita") con ácido sulfúrico. Con el posterior filtrado se obtiene el ácido fosfórico por un lado y por otro un residuo industrial denominado "fosfoyeso".

Uno de los varios inconvenientes del proceso es que la fosforita tiene en su composición metales pesados como el arsénico, el plomo, el mercurio y el cadmio, que pasan de la fosforita a los fosfoyesos al no haber ningún tratamiento que los elimine. Además, un informe del CSIC², finalizado

1 Según declaraciones de la coordinadora del Proyecto Europeo Toro, que es el estudio oceánico de los ríos Tinto y Odiel.

2 El Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) recibe la notificación del Congreso de los Diputados (Boletín Oficial de las

en 2004, y posteriormente el del CRIIRAD³, de 2007, (encargado por Greenpeace) han revelado la existencia en la zona de elementos radiactivos como el uranio-238, uranio-235, radio-226, polonio-210 y plomo 210, además de radón 222, en concentraciones más elevadas de lo permitido por la legislación.

El problema

Con 1.200 hectáreas, el vertedero de residuos industriales de Huelva es uno de los más extensos del mundo: una extensión superior a la de la propia ciudad. Su construcción ha arrasado buena parte de las marismas del río Tinto, una zona de alto valor ecológico y biológico. Actualmente las balsas alcanzan casi 30 metros de altura y se acumularon en ellas unos 120 millones de toneladas de fosfoyesos, a un ritmo aproximado de 3 millones de toneladas año. Estos fosfoyesos incluyen importantes cantidades de elementos radiactivos (uranio-238, uranio-235, radio-226, polonio-210, plomo 210 y radón 222), metales pesados (cadmio, plomo, cobre...) y ácidos débiles (arsénico, zinc...).

La montaña de residuos ha provocado evidentes problemas de salud, la pérdida de terrenos de enorme valor ecológico y tiene un fuerte impacto visual y paisajístico entre las ciudades de Palos de la Frontera, Moguer y Huelva. Según los planes aprobados por la Administración andaluza, la pirámide de los residuos podría alcanzar una altura de 25 metros. Sin embargo, las condiciones para otorgar la concesión por el Ministerio de Medio Ambiente –quien tiene la competencia sobre los terrenos de Dominio Marítimo Terrestre ocupados – **exigía que la altura no superase los 3 metros.**

A esta situación se añade el enterramiento, en mayo de 1998, según el CSN , de 7161 toneladas de cenizas radiactivas con cesio 137 procedentes de la empresa **Acerinox**.

¿Cuáles han sido las afecciones de la industria sobre las personas y actividades tradicionales de la ría?

El estudio del **CSIC** ha investigado también la incidencia de enfermedades en la ciudad de Huelva, y ha analizado la mortalidad por cáncer. Los resultados detectan un mayor índice de mortalidad con respecto al del resto de las capitales de Andalucía, un 10% más en los hombres y un 6% en las mujeres. En Andalucía se registra uno de los índices de mortalidad por cáncer más elevados de toda España.

La Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica concluye que Huelva, con un 14,6% de población asmática⁴, es la provincia con mayor tasa de esta dolencia en España, superando en más del doble a grandes urbes como Barcelona. Tampoco los trabajos del doctor Joan Benach que con sus investigaciones viene poniendo de manifiesto las altas tasas de mortalidad que padece la provincia⁵.

Coincidiendo con la sequía de 1995, se registran en Huelva 725 casos de una enfermedad tiroidea

Cortes Generales del Congreso de los Diputados de 22 de Febrero de 1999), de elaborar un estudio que permitiese realizar un Diagnóstico Ambiental y Sanitario de la Ría de Huelva.

Dicho estudio prospectivo reveló que el Diagnóstico Ambiental y Sanitario de la Ría de Huelva requeriría, debido a las actividades de los Polos Industriales de la zona asentados allí desde los años 60, un análisis detallado de la contaminación atmosférica de la zona y de la calidad de las aguas y sedimentos de la Ría. Con respecto a los análisis sanitarios se llevaron a cabo dos líneas de actuación. Una, encaminada a determinar la ingesta total de contaminantes por la población de la Ría de Huelva en base a sus hábitos de consumo; y otra en la que se realiza un estudio comparativo de mortalidad en Huelva capital respecto a las otras siete capitales de provincias andaluzas.

3 CRIIRAD (2007): Control radiológico de las balsas de fosfoyesos y del vertido de cesio 137 del CRI-9. Comisión de Investigación e Información Independientes sobre la Radiactividad. 36 p.

4 Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (SEPAR) (2005). Estudio del grupo español sobre salud respiratoria en Europa (ECRHS).

5 Benach et al., (2001). Atlas de la mortalidad en áreas pequeñas de España. Universidad Pompeu Fabra.

Benach et al., (2004). The geography of the highest mortality areas in Spain: a striking cluster in the southwestern region of country. *Occup Environ Med*, 61, 280-281.

atípica. El doctor Francisco López Rueda⁶, uno de los endocrinos más reconocidos de la ciudad, descubrió que los culpables son los PCBs, los compuestos organoclorados, como las dioxinas (procedentes de las fábricas) y ciertos plaguicidas (utilizados por los agricultores de la zona), unido a altas concentraciones de metales pesados. La sequía de aquel año originó una concentración de estos compuestos tóxicos en el agua potable que perjudicaron la salud de la población.

La instalación del polo químico ha alterado también los hábitos de vida de los habitantes de la ría y de Huelva (unos 150.000 sólo en la capital). Actividades tradicionales como la pesca y el marisqueo están prohibidas como consecuencia de los altísimos niveles de metales pesados, organoclorados y otros compuestos detectados en suelo y aguas. El aire de la ciudad sufre la contaminación: las partículas en suspensión presentan valores que doblan lo recomendado por las directivas europeas en esta materia, lo mismo que las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) y óxidos nítricos (NO_x).

Se ha perdido el uso público de la playa Gilda en Huelva (junto a la estatua a Colón) que ya no se considera como “playa” por parte de la administración. El paseo marítimo, el tren que accedía a la punta del Sebo, los balnearios y la zona de esparcimiento de la ciudad que suponía antaño la punta del Sebo también han desaparecido. A ello se suma la amenaza sobre las marismas del río Odiel, al otro lado de la ciudad en la orilla del río del mismo nombre, que fueron declaradas Reserva de la Biosfera por la UNESCO y que cuentan con importantes colonias de aves. También para el Parque Nacional de Doñana, que recibe las aguas que drenan los ríos Tinto y Odiel.

Otros de los efectos negativos ha sido la pérdida de identidad de la ciudad. La vida social y política de Huelva está absolutamente condicionada a los intereses de las empresas del polo químico y del *lobby* de estas industrias. Éstas han conseguido dividir a la población haciéndola vivir bajo el temor de la recesión y el paro si la actividad productiva es detenida por cuestiones medioambientales.

Datos relevantes de las concesiones de Fertiberia y sus vicisitudes

Concesiones de vertido otorgadas por la Administración:

C-469- Huelva, el 14 de marzo de 1967;

C-470 –Huelva, el 17 de mayo de 1968;

Y ambas se transformaron en la **C-785 – Huelva**, el 22 de abril de 1998.

La concesión ocupa una parcela de 720 hectáreas de dominio público marítimo terrestre, en la margen derecha del río Tinto, en el estero de “La Anicoba”, con destino a la construcción de depósitos de decantación para el vertido de fosfoyeso, subproducto/residuo industrial de la planta de ácido fosfórico, en el término municipal de Huelva.

Caducidad de la concesión:

11 de noviembre de 1998, se inicia el expediente de caducidad de la concesión por Resolución de la Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente.

22 de julio de 2003, ante la insistencia de WWF España se obtiene el dictamen del Consejo de Estado favorable a la caducidad, por lo que Fertiberia debería dejar de verter fosfoyesos a las marismas

27 de noviembre de 2003, la Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente dicta **Resolución por la que se declara la caducidad de la concesión.**

27 de junio de 2007, WWF España consigue la **Sentencia** de la **Audiencia Nacional** por la que se confirma la resolución de caducidad de la concesión.

14 de diciembre de 2009, WWF España consigue **Auto** de la **Audiencia Nacional** con la forma de llevar a efecto la **ejecución** de la caducidad.

⁶ Francisco L. Rueda, Julia M. Palomares y Ignacio V. Rico (1999): “Atypical Thyroiditis in Huelva”. *Endocrine Practice*. Vol 5, Nº3.

17 de febrero de 2010, la Audiencia Nacional rechaza el Recurso de Súplica interpuesto por Fertiberia contra otro Auto de diciembre de 2009, acepta las propuestas de WWF España y mantiene el Auto de 14 de diciembre de 2009 que imponía el cese de los vertidos a 31 de diciembre de 2010.

Otras reclamaciones sobre este caso

Comisión Europea

30 de mayo de 2008, WWF España y Greenpeace interponen una queja ante la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea por infracción de tres Directivas: residuos, vertidos y responsabilidad ambiental.

24 y 25 de noviembre de 2008, la Comisión Europea visita a la zona con Greenpeace.

19 de marzo de 2009, la Comisión Europea remite *carta de emplazamiento complementaria* a España.

18 de marzo de 2010, en la reunión de quejas, la Dirección General de Medio Ambiente de la **Comisión UE emite un dictamen motivado**.

Parlamento Europeo-Comisión de Peticiones

12 de junio de 2007, Greenpeace presenta una petición ante la Comisión de Peticiones del Parlamento Europeo para solicitar que la Unión Europea investigue la violación de cuatro Directivas en el caso de los vertidos de fosfoyesos en Huelva.

16 al 18 de febrero de 2010, la Comisión de Peticiones visita con Greenpeace Huelva.

14 de junio de 2010, la Comisión de Peticiones emite un duro informe⁷ tras la visita a Huelva. En el mismo se reconoce la situación de contaminación y las irregularidades denunciadas por Greenpeace.

Defensor del Pueblo

26 de octubre de 2009, a la vista de las informaciones aportadas por WWF España y Greenpeace, el Defensor del Pueblo pide información sobre las concesiones de Fertiberia, al Ministerio de Medio Ambiente, la Junta de Andalucía y Egmasa.

20 de octubre de 2010, el Defensor del Pueblo *sugiere* a la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía que declare la nulidad de la autorización ambiental integrada concedida a Fertiberia.

Principales actuaciones de Greenpeace

Marzo de 2005, Greenpeace lleva el MW Arctic Sunrise a Huelva.

9 de marzo de 2005, activistas de Greenpeace tapan las tuberías de Fertiberia que vierten aguas de proceso a la ría del Odiel.

18 de julio de 2008, Greenpeace comparece ante la Comisión de Peticiones del Parlamento europeo en Bruselas para exponer lo que se reconoce por su presidente como **“el mayor caso de contaminación industrial de Europa”**.

⁷ Documento de trabajo sobre la misión de investigación a Huelva del 16 al 18 de febrero de 2010. Comisión de peticiones del Parlamento europeo. En el mismo se dice:

“...se han depositado en esta zona alrededor de 125 millones de toneladas de residuos industriales, principalmente de fosfoyeso (sulfato de calcio), un subproducto de la producción de fertilizantes. La roca que constituye la materia prima se importa del norte de África. Es un material tóxico y ligeramente radiactivo.”

ECOLOGISTAS
en acción

GREENPEACE

